

На правах рукописи



Плотников Сергей Владимирович

**АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ
ОПЕРАТОРОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Специальность 05.13.06 - автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами (образование)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2010

Диссертация выполнена в ГОУ ВПО «Шуйский государственный педагогический университет»

Научный руководитель:	доктор технических наук, ст. научный сотрудник Ларцов Сергей Викторович
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор Федосеев Вадим Николаевич кандидат технических наук Прахов Илья Андреевич
Ведущая организация	ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет»

Защита диссертации состоится «14» мая 2010 г. в 15⁰⁰ на заседании объединенного диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций ДМ.008.004.02 при Учреждении Российской академии образования «Институт информатизации образования» по адресу: 119121, г. Москва, ул. Погодинская, д. 8.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения Российской академии образования «Институт информатизации образования», автореферат размещен на сайте <http://www.iiorao.ru>.

Автореферат разослан «13» апреля 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор педагогических наук,
кандидат технических наук,
профессор



О.А. Козлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Современный этап развития общества характеризуется интенсивным внедрением средств информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) во все сферы жизни и деятельности человека, в том числе и в область профессиональной подготовки специалистов различного профиля. Теоретические и методологические основы использования средств ИКТ в образовании получили развитие в исследованиях Алексеева В.В., Безбогова А.А., Данилюка С.Г., Козлова О.А., Латышева В.Л., Павлова А.А., Роберт И.В., Сердюкова В.И., Сазонова Б.А., Соловьева А.Я., Татура Ю.Г., Филатова О.К. и др.

Одним из решающих факторов повышения эффективности и надежности работы системы "человек-машина" является увеличение степени ее автоматизации. Однако полная автоматизация процессов управления приводит к чрезмерному усложнению системы и снижению надежности ее работы, в связи с чем автоматизированные системы, представляющие собой сложные технологические комплексы, целесообразно создавать на основе оптимального распределения функций между человеком и машиной. Особенности сложных технологических установок являются большое число элементов и выполняемых ими задач (которые относятся к системам "человек-машина"), высокая функциональная связность элементов, сложность управляющих воздействий в нестандартных ситуациях.

Деятельность оператора сложных технологических установок характеризуется высокой напряженностью. Это обуславливает повышение требований к психофизиологическим и личностным качествам оператора. Операторы, не обладающие достаточными способностями для эффективного управления системой, допускают большее число ошибочных действий, что может негативно сказаться на качестве решаемых задач, привести к нарушению технологического процесса и к значительным материальным потерям. Ввиду этого для повышения эффективности и надежности работы автоматизированных систем необходим профессиональный психофизиологический отбор и специальная подготовка операторов.

Техническое решение задачи психофизиологического тестирования операторов специфично и связано, прежде всего, с разработкой алгоритмического и аппаратного обеспечения автоматизированной системы тестирования хронореакциометрического направления, ориентированного не только на качественную, но и точную количественную оценку поведенческих реакций человека, действующего в условиях дефицита времени. При этом под алгоритмическим обеспечением такой системы будем понимать совокупность алгоритмов, реализующих математические методы проведения мониторинга профессиональной готовности на основе комплексной оценки профессионально важных качеств и психофизиологического состояния оператора, а под аппаратным обеспечением – комплекс электронных и механических устройств, входящих в состав автоматизированной тестирующей системы.

Большие перспективы эксперты связывают с разработкой автоматизированных психофизиологических систем на основе методов теории функциональных биотехнических систем. Фундаментальный вклад в развитие математического и биофизического моделирования операторской деятельности внесен работами Ахутина В.М., Баевского Р.М., Блинова Н.Н., Василевского Н.Н., Гурфинкеля В.С.,

Зараковского Г.М., Киселёва В.Д., Кульбы В.В., Лищука В.А., Логвинова С.И., Ломова Б.Ф., Мамиконова А.Г., Сигитова В.В., Шибанова Г.П. и др.

Анализ проблемы автоматизации профессионального психофизиологического отбора операторов в аспекте техники хронореакциометрического направления выявил два основных подхода к ее решению: 1) разработка систем с биотехнической обратной связью для психофизиологического тестирования; 2) создание автоматизированных систем для психофизиологического тестирования с оптимальным вариантом комплексирования аппаратной и программной составляющих.

Несмотря на достигнутые успехи первого направления в области создания и использования психофизиологической техники (Бабский Е.Б., Баевский Р.М., Бойко Е.И., Боксер О.Я., Горшков С.И., Золина З.М., Майкин Ю.В., Парин В.В. и др.), на пути интеграции этих двух направлений просматривается ряд нерешенных проблем, среди которых выделим: разработку автоматизированных систем, функционирующих на принципе биотехнической обратной связи, предназначенных для тестирования и коррекции психофизиологического состояния человека-оператора; разработку моделей функциональной биотехнической системы "оператор - автоматизированная система управления технологической установкой"; разработку методов комплексной оценки профессионально важных качеств и психофизиологического состояния человека-оператора.

Таким образом, **актуальной** является научная задача создания автоматизированных тестирующих психофизиологических систем на основе использования принципа биотехнической обратной связи и разработки соответствующего алгоритмического и аппаратно-программного обеспечения.

Объект исследования – человеко-машинная система "оператор - автоматизированная система управления технологической установкой".

Предмет исследования – автоматизированный процесс психофизиологического тестирования оператора сложных технологических установок (на примере операторов технологических установок газовой промышленности) на этапе профессионального отбора.

Цель исследования – разработка алгоритмического и аппаратного обеспечения автоматизированной системы психофизиологического тестирования операторов сложных технологических установок для повышения достоверности оценки готовности оператора к выполнению задач профессиональной деятельности.

Для достижения цели диссертационного исследования необходимо решить следующие подзадачи:

1. Провести анализ существующих подходов к проблеме автоматизированного профессионального психофизиологического отбора операторов сложных технологических установок и построить модель перспективной автоматизированной тестирующей психофизиологической системы.

2. Разработать метод автоматизированного психофизиологического тестирования операторов сложных технологических установок, обеспечивающий комплексную оценку профессионально важных качеств и психофизиологического состояния оператора.

3. Разработать алгоритм количественной оценки готовности оператора сложных технологических установок к выполнению задач профессиональной деятельности.

4. Разработать устройство для измерения времени экстренной двигательной реакции оператора в составе автоматизированной тестирующей психофизиологической системы.

5. Создать аппаратно-программное обеспечение автоматизированной тестирующей психофизиологической системы для оценки готовности оператора сложных технологических установок к выполнению задач профессиональной деятельности.

Методологические основы и методы исследования.

Решение задач диссертационного исследования осуществлялось на основе комплексного применения теоретических и экспериментальных методов. Теоретические исследования основывались на использовании методов системотехники и теории управления, теории функциональных биотехнических систем, психофизиологии, энтропийной теории погрешностей. Экспериментальные исследования проводились с использованием стендового оборудования и опытно-экспериментальных образцов тестирующих психофизиологических систем.

Экспериментальная проверка и оценка эффективности предложенных методов и устройств в составе автоматизированной тестирующей системы осуществлялись на основе психофизиологических исследований в условиях образовательного процесса.

Научная новизна и теоретическая значимость исследования заключается в следующем:

1. Построена модель автоматизированной тестирующей психофизиологической системы, в основе которой лежит принцип биотехнической обратной связи, который расширяет функциональные возможности системы в аспектах оценки профессиональной пригодности и подготовки операторов сложных технологических установок.

2. Предложен метод оценки профессиональной пригодности операторов, реализующий алгоритмический подход к анализу деятельности оператора и учитывающий качество выполнения им технологических операций предписанного алгоритма в процессе автоматизированного тестирования.

3. Разработан алгоритм количественной оценки функциональной надежности операторов сложных технологических установок, характеризующийся повышенной прогностической способностью для оценки готовности оператора к выполнению задач профессиональной деятельности.

Практическая значимость исследования.

Предложенный метод оценки профессиональной пригодности операторов технологических установок реализован в тестирующей психофизиологической системе в составе автоматизированной системы профессионального отбора.

Методика, алгоритмы и аппаратно-программное обеспечение автоматизированного психофизиологического тестирования операторов использованы в научных исследованиях, проводимых в межкафедральной психофизиологической лаборатории ГОУ ВПО "Шуйский государственный педагогический университет".

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в рамках темы диссертационной работы, сформулированы технические и эргономические требования к характеристикам перспективных автоматизи-

рованных тестирующих систем. Создан демонстрационный образец тестирующей психофизиологической системы.

Апробация результатов исследования.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на следующих международных и всероссийских научных конференциях: Всероссийская научно-практическая конференция "Психология и эргономика: единство теории и практики" (Тверь, 1999); Международная научная конференция "Современные информационные технологии в образовательном процессе и научных исследованиях" (Шуя, 2000); Всероссийская научно-методическая конференция "VIII Столетовские чтения" (Владимир, 2000); II Международная конференция "Актуальные проблемы современного естествознания" (Калуга, 2000); Всероссийская научно-техническая конференция "Медицинские информационные системы" (Таганрог, 2000); Всероссийская конференция "Необратимые процессы в природе и технике" (Москва, 2001); VIII Международная научно-техническая конференция "Перспективные технологии в средствах передачи информации" (Владимир, 2009); Международная научно-практическая конференция "Развитие отечественной системы информатизации образования в здоровьесберегающих условиях" (Москва, 2009).

Внедрение результатов исследования.

Основные результаты диссертационного исследования использованы в ЗАО "Объединение "Бинар", а также в научно-исследовательской деятельности ГОУ ВПО "Шуйский государственный педагогический университет".

На техническое решение "Устройство для измерения реакции на положение движущегося раздражителя", разработанное в рамках диссертационного исследования, получено свидетельство на полезную модель.

Основные результаты, выносимые на защиту:

1. Модель автоматизированной тестирующей психофизиологической системы, которая основывается на принципе биотехнической обратной связи, расширяющем функциональные возможности системы в аспектах оценки профессиональной пригодности и подготовки операторов технологических установок.
2. Метод оценки функциональной надежности операторов технологических установок, обеспечивающий комплексную оценку профессионально важных качеств и психофизиологического состояния операторов.
3. Аппаратно-программное обеспечение автоматизированной тестирующей психофизиологической системы, построенное с использованием авторских моделей и алгоритмов и характеризующееся повышенной прогностической способностью для оценки надежности операторов сложных технологических установок.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа включает: введение, три главы, заключение, список литературы и четыре приложения. Работа содержит 114 страниц, 9 рисунков, 9 таблиц. Библиографический список – 138 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** определяется предметная область исследования, обосновывается актуальность проблематики, формулируются цели и задачи диссертационной работы, кратко излагаются полученные результаты.

В **первой главе** рассмотрены основные особенности автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), принципы профессионального отбора операторов технологических установок газовой промышленности, проанализированы проблемы автоматизации профессионального психофизиологического отбора операторов и современное состояние психодиагностической техники хронореакциометрического направления.

АСУ ТП представляют собой комплекс технических средств, алгоритмов, организационных мероприятий, обеспечивающих работу системы и позволяющих оптимизировать режим работы технического объекта.

Профессиональный отбор – это научно обоснованный допуск людей к определенному виду профессионального обучения и последующей работе по специальности. Система профессионального отбора состоит из следующих основных его видов: медицинского, социально-психологического, образовательного и психофизиологического. В системе профессионального отбора операторов психофизиологический отбор занимает особое место. Это связано с тем, что психофизиологические исследования позволяют достаточно быстро и объективно измерять большое число психофизиологических свойств, выявлять глубокую и тонкую структуру индивидуальных особенностей личности. Ценно то, что психофизиологические свойства человека могут количественно выражать профессионально важные качества и для многих профессий обладают достаточно высокой прогностической способностью.

В результате изучения литературы по теме исследования были выявлены и проранжированы профессионально важные качества специальностей операторского типа, определены эффективные методики исследования данных качеств.

Анализ литературных и патентных источников показал, что тестирующие психофизиологические комплексы целесообразно создавать на основе психофизиологических аппаратных модулей (приставок), рассчитанных на специфическую стыковку с различными ЭВМ. При этом легко достигается комплексирование элементов хронореакциометрии с различными экспериментально-психологическими и физиологическими методиками.

На фоне убедительных достижений в развитии элементной базы психодиагностической аппаратуры произошло существенное сокращение объема исследовательских работ, направленных на создание хронореакциометрических методик. Анализ известных методик и имеющихся аппаратных средств в существующей системе профессионального отбора операторов позволил выявить их ограниченные способности в задачах количественного оценивания психофизиологической составляющей деятельности человека-оператора. Необходимо дальнейшее развитие теории и приложений психофизиологии в интересах анализа психофизиологической составляющей профессиональной пригодности операторов сложных технологических установок и разработки психофизиологической аппаратуры на базе средств ИКТ с расширенным программным обеспечением.

Во **второй главе** проведен структурный анализ деятельности человека-оператора и описана методика расчета коэффициентов стереотипности (Z) и логической сложности (L), характеризующих структуру алгоритма операторской деятельности, предложен метод оценки готовности (функциональной надежности) оператора к выполнению задач профессиональной деятельности.

Профессиональная деятельность оператора – это процесс, осуществляемый человеком-оператором для достижения поставленных перед системой "человек-машина" целей. Этот процесс представляет собой упорядоченную совокупность действий. Если раскрыта логическая организация этой совокупности, то сложное действие может быть описано как алгоритм решения определенной задачи деятельности. Разные виды деятельности могут складываться из типовых действий. Выделяют два уровня типовой деятельности человека-оператора: технологический и психофизиологический.

Работа человека-оператора подразделяется на три иерархических уровня: деятельность, действия (типовые и ситуационные), операции. Деятельность конструируется из действий. Действия человека-оператора направлены на реализацию определенной цели, достижение которой реализуется выполнением ряда операций. Действия представляют собой организованный набор таких операций. Для операций всегда существует четкий критерий их выполнения или невыполнения. Деятельность оператора осуществляется по заранее отработанному алгоритму, который указывается в Инструкции по эксплуатации технологических установок.

Алгоритмом называют предписание о выполнении в определенном порядке некоторой совокупности операций, необходимых для достижения поставленной цели. Наиболее распространенной формой описания алгоритма деятельности оператора является символическая форма с использованием логической схемы. В логической схеме алгоритма его элементы записываются в виде последовательности управляющих воздействий A_i и логических условий P_i .

Для оценки структуры профессиональной деятельности оператора используются следующие количественные характеристики алгоритма:

1. Нормированный коэффициент стереотипности (Z):

$$Z = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{m_o} \frac{n_{oj}^2}{M_{oj}},$$

где m_o – число непрерывных групп операторов (управляющих воздействий) в алгоритме, n_{oj} – длина j -ой непрерывной группы операторов, равная числу операторов в группе, N – полное число операций в алгоритме, M_{oj} – число операций в j -ой комплексной группе. Комплексная группа включает одну непрерывную группу операторов и следующую за ней одну непрерывную группу логических условий. Разбиение алгоритма на комплексные группы осуществляется, начиная с первой группы операторов.

2. Нормированный коэффициент логической сложности (L):

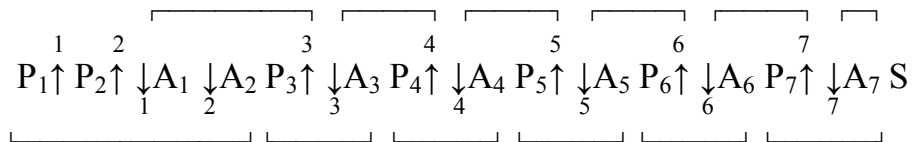
$$L = \frac{1}{N^*} \sum_{j=1}^{m_n} \frac{n_{lj}^2}{M_{lj}},$$

где m_n – число непрерывных групп логических условий в алгоритме, n_{lj} – длина j -ой непрерывной группы логических условий, равная числу логических условий в

группе, N^* – число операций в алгоритме, начиная с первого по счету логического условия, M_{lj} – число операций в j -ой комплексной группе алгоритма. Комплексная группа включает одну непрерывную группу логических условий и следующую за ней одну непрерывную группу операторов. Разбиение алгоритма на комплексные группы осуществляется, начиная с первой группы логических условий.

Ниже представлена логическая схема фрагмента алгоритма работы оператора автоматизированной системы управления (АСУ).

Группы операторов



Группы

логических условий

Рисунок 1 – Логическая схема фрагмента алгоритма работы оператора АСУ

Расчет коэффициентов стереотипности (Z) и логической сложности (L) показывает, что логическая схема предложенного нами алгоритма характеризуется оптимальными значениями количественных показателей структуры деятельности человека-оператора, удовлетворяющих условию $0,25 \leq Z \leq 0,85$; $L \leq 0,2$, и предложенный алгоритм может рассматриваться как типовой для анализа психофизиологического состояния оператора.

В рамках проведенной опытно-экспериментальной работы разработан и апробирован модифицированный метод оценки функциональной надежности через интегральный показатель психофизиологического состояния человека-оператора при работе на учебно-тренировочных средствах (УТС).

Функциональная надежность оператора оценивается по двум параметрам: времени выполнения алгоритма t_A (быстродействие оператора) и количеству допущенных оператором ошибок N_A (точность выполнения оператором предписанных функций). Первый показатель (t_A) определяется инструктором по данным ручного хронометража – фиксируется начало и окончание работы оператора. Второй показатель (N_A) определяется инструктором по данным визуального контроля (наблюдения) за порядком отработки оператором алгоритма на УТС. Оценка функциональной надежности оператора при работе на УТС выставляется инструктором по правилам, приведенным в таблице 1. Оценка выставляется путем сравнения полученных результатов (t_A, N_A) с нормативными показателями (t_H, N_H).

Таблица 1

Время выполнения алгоритма t_A	Количество допущенных ошибок N_A		
	0	1	2 и более
$t_A \leq t_{H1}$	отлично	хорошо	неуд.
$t_{H1} < t_A \leq t_{H2}$	хорошо	удовл.	неуд.
$t_{H2} < t_A \leq t_{H3}$	удовл.	неуд.	неуд.
$t_A > t_{H3}$	неуд.	неуд.	неуд.

В основе базовой методики оценки функциональной надежности оператора лежит эмпирический подход к оценке качества деятельности оператора.

При ряде достоинств (простота реализации, наглядность представления конечного результата деятельности оператора) базовый метод оценки функциональной надежности оператора обладает рядом недостатков, в частности: не обеспечи-

вается возможность установления причин различия реализованных и предписанных алгоритмов деятельности, что формально проявляется в динамике быстродействия (t_A) оператора; алгоритм деятельности оператора оценивается в целом по итоговому интегральному показателю его выполнения без текущего контроля за нарушением последовательности регламентированных операций, что формально проявляется в количестве допущенных оператором ошибок (N_A); не обеспечивается контроль динамики изменения психофизиологического состояния оператора и оценка ее влияния на показатели (t_A, N_A); отсутствует возможность установления основных причин получения оператором низкой оценки функциональной надежности при работе на УТС.

Для устранения вышеуказанных недочетов базового метода нами был разработан и апробирован его модифицированный вариант.

Сущность нашей модификации состоит в возможности организовать на уровне аппаратно-программных средств УТС учет двух основных составляющих функциональной надежности оператора: структурных особенностей процесса операторской деятельности и динамики изменения функционального состояния оператора в процессе деятельности.

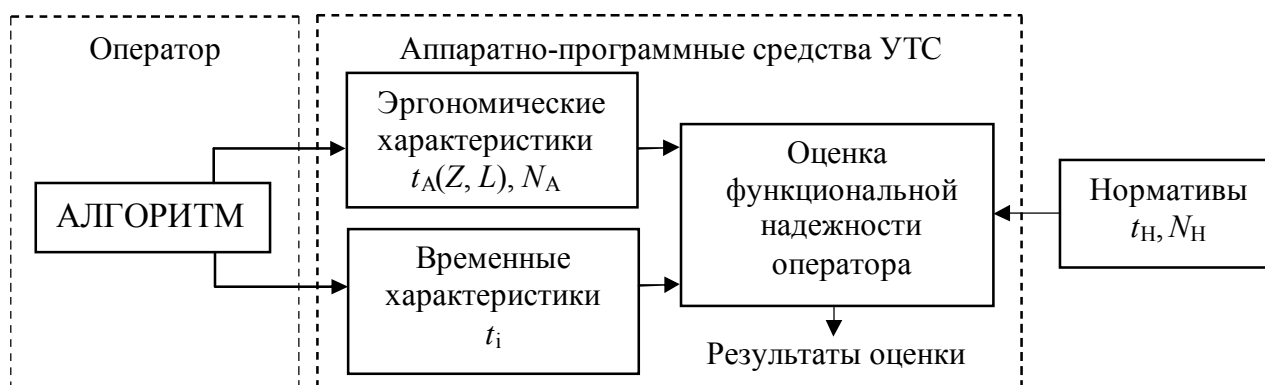


Рисунок 2 – Структурная схема модифицированного метода оценки функциональной надежности оператора

Структурные особенности процесса операторской деятельности характеризуются коэффициентами стереотипности (Z) и логической сложности (L) алгоритма (эргономическая составляющая деятельности оператора); динамика изменения функционального состояния оператора в процессе деятельности характеризуется временными параметрами (t_i) типологических действий оператора при работе на УТС (психофизиологическая составляющая деятельности оператора).

Несмотря на то, что структура предписанного алгоритма деятельности человека-оператора жестко детерминирована нормативным набором операций (логических условий и управляющих воздействий), оператор может выполнять одну и ту же задачу управления действиями разными как по технологическому (внешнему), так и психофизиологическому (внутреннему) содержанию, что обуславливает вариативность внешних и внутренних показателей деятельности оператора (Z, L, t_i). Характер этих действий зависит от многих факторов: уровня обученности (подготовленности), установки на скорость или точность (или на то и другое), эмоционального состояния, индивидуальных свойств памяти и мышления человека-оператора и т.п. Например, на технологическом уровне профессионально подготовленный человек-оператор может в ходе выполнения алгоритма изменять его

структуру, а, следовательно, и ее характеристики (Z, L), оперируя последовательно не нормативными информационными технологическими единицами (логическими условиями), а используя оперативные единицы информации, не содержащие в полном объеме нормативный набор логических условий, т.е. человек-оператор, отрабатывая в полном объеме нормативный набор управляющих воздействий (A_i), избирательно ориентируется на нормативный набор предъявляемых ему логических условий (P_i), пропуская некоторые из них (не реагируя на них).

С одной стороны, показатель стереотипности и показатель логической сложности количественно обосновывают системную взаимосвязь и взаимовлияние технологического и психофизиологического подходов к оценке функциональной надежности оператора, констатируют определяющую роль оператора в изменении структуры его деятельности. С другой стороны, они указывают на возможность взять под контроль временную организацию пошагового (пооперационного) выполнения оператором алгоритма, тем самым предоставляя возможность количественно охарактеризовать методом рефлексометрии рефлекторные процессы, сопровождающие деятельность оператора на технологическом уровне.

Сопоставим оба метода оценки функциональной надежности оператора.

В базовом методе за основу берется нормативный принцип операторской деятельности, которому соответствует неизменная структура предписанного алгоритма ($Z = \text{const}, L = \text{const}$). Фактор функционального (психофизиологического) состояния не учитывается. Функциональная надежность оператора определяется эмпирически как функция двух параметров (t_A, N_A). Пошаговый (пооперационный) контроль за действиями оператора отсутствует.

В модифицированном методе свойство функциональной надежности оператора рассматривается как сложная функция от многих параметров реализованного алгоритма ($t_A(Z, L, t_i), N_A$), определяемых аппаратно-программными средствами УТС в режиме пошагового контроля за действиями оператора.

Модифицированный метод, во-первых, учитывает возможность изменения оператором хода (структуры) выполнения предписанного алгоритма, т.е. учитывается изменчивость коэффициентов Z и L алгоритма, что проявляется в количестве (H) преобразуемой оператором информации; во-вторых, учитывается динамика изменения временных параметров (t_i) психофизиологического состояния оператора по данным рефлексометрии.

Оба эти фактора проявляются в динамике быстродействия (t_A) оператора, что можно проиллюстрировать, пользуясь критерием быстродействия оператора:

$$\sum t_i + bH + t_{\text{ож}} \leq T - \sum \tau_k,$$

где $\sum t_i$ – временная составляющая быстродействия, отражающая время реакций оператора в i -ом шаге алгоритма; H – количество преобразуемой оператором информации (логических условий); b – величина, обратная скорости переработки информации оператором; $t_{\text{ож}}$ – время, затрачиваемое на ожидание сигналов обслуживания (при наличии очереди сигналов на обслуживание); T – продолжительность управления системой, задаваемая инструкцией по эксплуатации; $\sum \tau_k$ – время задержки сигнала в k -ом звене системы (задается паспортными данными на УТС).

Левая часть критерия быстродействия характеризует фактическое время выполнения оператором алгоритма (t_A), а правая часть характеризует быстродействие, задаваемое инструкцией по эксплуатации (t_H).

Внедрение предложенного подхода к оценке функциональной надежности оператора позволяет решить ряд существенных практических задач операторской деятельности: автоматизировать процесс выставления комплексной оценки функциональной надежности оператора по результатам его реальной работы в пошаговом режиме, что позволяет повысить достоверность оценки; освободить инструктора и сократить время на профессиональную подготовку оператора; разработать единую систему объективных требований для выставления оценки при проведении подготовки оператора к работе на УТС; разработать единую систему конкретных рекомендаций по совершенствованию практических навыков работы оператора на УТС; получить объективные данные по изменению психофизиологического состояния оператора при работе на УТС в различных условиях подготовки.

В **третьей главе** рассмотрены вопросы построения автоматизированной тестирующей психофизиологической системы (ТПФС) хронореакциометрического направления для обследования человека-оператора.

Предлагаемая автоматизированная ТПФС рассчитана на хронореакциометрию человека-оператора при работе на УТС в реальном масштабе времени. Она имеет структуру общую для построения психофизиологических систем на базе ЭВМ, но отличается методикой тестирования и функционально иным содержанием периферийной части системы.

Автоматизированная ТПФС состоит из трех основных блоков: ЭВМ, выполняющей функции управляющего вычислительно-информационного комплекса; УТС, играющего роль хронореакциометрической приставки, и устройства сопряжения (УС) между ЭВМ и УТС.

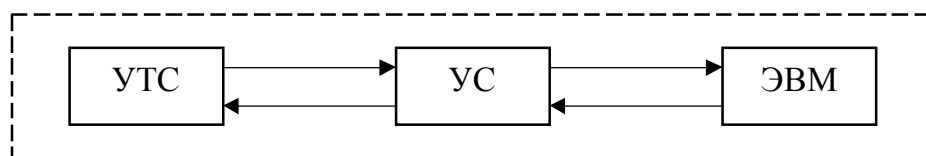


Рисунок 3 – Функциональная схема автоматизированной ТПФС

С позиции психофизиологической техники хронореакциометрического направления УТС рассматривается нами как панель исследования сенсомоторных реакций и психомоторики, формирователя стимулов и приема ответных реакций человека-оператора. Конструктивными элементами УТС являются различные органы управления (кнопки, ручки управления, тумблеры и т.п.), выполняющие роль датчиков двигательных реакций оператора. При таком подходе к функциональной роли УТС в составе автоматизированной ТПФС, во-первых, обеспечивается обследование человека-оператора в процессе его текущей деятельности в производственных условиях; во-вторых, устраняется "негативное" воздействие специальных тестирующих сигналов на процесс тестирования, что свойственно обследованию оператора в лабораторных условиях, имитирующих его деятельность.

В автоматизированной ТПФС, наряду с авторским методом тестирования, обеспечивается и разносторонняя классическая хронореакциометрия и количественный анализ тремора, координации движения, точности воспроизведения заданной амплитуды движения человека-оператора, работоспособности его двигательного анализатора (теппинг-тест) и т.д.

Программное обеспечение автоматизированной ТПФС включает, помимо программной реализации авторского метода, пакет прикладных программ для

психодиагностики по методам бланковых тестов-опросников. Кроме того, реализуется статистическая обработка результатов исследования, их идентификация и документирование.

Автоматизированная ТПФС обеспечивает возможность получения объективных данных как констатирующего характера (проверка готовности оператора к выполнению заданного вида деятельности), так и прогнозирующего характера (предсказание возникновения нежелательных состояний как причин снижения эффективности его деятельности), при этом возможно получение данных для текущего контроля функциональной надежности оператора.

Разработанная автоматизированная ТПФС использовалась для оценки по результатам тестирования времени экстренной двигательной реакции (ЭДР).

Известные устройства для измерения ЭДР имеют следующий недостаток, ограничивающий их метрологические возможности: не учитывается влияние мышечного усилия, с которым испытуемый воздействует на датчик реакции при работе на размыкание, вследствие чего не учитывается время торможения мышечной реакции. Погрешность имеет место в любых типах датчиков двигательных реакций (контактных, сенсорных), т.к. обусловлена влиянием не инструментального (аппаратного), а биологического фактора на процесс измерения времени реакции.

Достоверность влияния указанного недостатка на процесс измерения двигательной реакции подтверждена статистически. Полученные нами экспериментальные данные (табл. 2), показали, что время реакции с дозированным мышечным усилием отличается от аналогичного показателя простой сенсомоторной реакции, что указывает на необходимость учета погрешности измерения времени двигательной реакции, связанной с мышечным воздействием испытуемого на датчик. Установлено, что данная погрешность прямо пропорциональна величине мышечного усилия оператора.

Таблица 2

Латентный период двигательной реакции, мс		Достоверность различия P_{H1-H2}
Скрытый период торможения двигательной реакции $(X_1 \pm m)$	Скрытый период простой сенсомоторной реакции $(X_2 \pm m)$	
236 ± 23	190 ± 26	< 0,01

Целью эксперимента было исключение погрешности измерения латентного периода ЭДР, связанной с неравномерностью воздействия испытуемым на контактную пару, работающую на размыкание.

Указанная цель достигается тем, что датчик двигательной реакции устройства для измерения ЭДР дополнительно оснащен пружинным динамометром (Д), задающим регулируемое высотой его прикрепления на штативе усилие для удержания испытуемым через полый цилиндр подвижного контакта (K_1), закрепленного на подвижном штоке динамометра, в соприкосновении с неподвижным (K_2), установленным в основании штатива.

Дискретные сигналы от датчика испытуемого через устройство сопряжения поступают в ЭВМ. Программа ЭВМ обеспечивает обработку и вывод на экран результатов испытаний.

При этом учет погрешности измерения ЭДР, связанной с неравномерностью воздействия испытуемого на датчик двигательной реакции, обеспечивается про-

граммно путем исключения из результатов испытаний статистических параметров указанной погрешности, которые устанавливаются экспериментатором в соответствии с заданным дозированным мышечным воздействием испытуемого на датчик двигательной реакции.

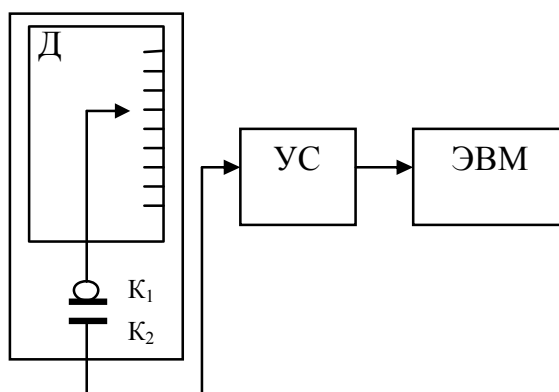


Рисунок 4 – Схема устройства для измерения ЭДР

Далее в процессе исследований рассмотрена функциональная биотехническая подсистема "оператор - орган управления УТС" как тренажерная хронореакциометрическая система с биотехнической обратной связью (БТОС).

В работе изучены системы, основанные на БТОС от результата действия. В них реализован принцип, согласно которому отклонение от заданного параметра действия автоматически вызывает пропорциональное сопротивление реализации этого действия (санкционирующее воздействие). Такие системы обладают высокими тренажерными возможностями.

В разработанной нами автоматизированной хронореакциометрической системе реализован вышеуказанный принцип для обеспечения саморегуляции (коррекции) времени ЭДР. В процессе саморегуляции времени ЭДР в режиме БТОС решаются две задачи: минимизация отклонения (δt) текущих (t_y) значений времени реакции от заданных (t_x) с индикацией знака отклонения и реализация заданного закона функционирования санкционирующего воздействия (z) по каналу обратной связи:

$$\delta t = \min\{|t_y - t_x|\}, \quad z = f(\delta t).$$

Система работает следующим образом:

В блоке программирования (БП) канала БТОС формируется заданное (t_x) значение времени ЭДР, которое преобразуется в первом преобразователе (Π_1) в аналоговый сигнал (U_x), поступающий на первый вход элемента сравнения (ЭС). Аналоговый сигнал усиливается по мощности усилителем (УМ) и тормозной механизм (ТМ) развивает тормозное (санкционирующее) воздействие (z), пропорциональное сигналу с выхода усилителя. В результате сигналом задания (U_x) осуществляется "блокировка" датчика двигательной реакции (ДР) испытуемого (И), который кинематически сочленен с тормозным механизмом.

Экспериментатор запускает генератор сигналов раздражения (ГСР), который синхронно осуществляет включение времяизмерительного устройства (ВИУ) и предъявление испытуемому определенного сигнала раздражения (зрительного, звукового, тактильного или ситуационного). При включении ВИУ на его выходе начинается формирование текущего (t_y) значения времени ЭДР, а на выходе второ-

го преобразователя (Π_2) его аналоговый эквивалент. В результате в ЭС возникает нарастающий процесс вычитания из аналогового сигнала задания (U_x) текущего аналогового значения (U_y) времени ЭДР, что приводит к уменьшению сигнала на входе усилителя и, соответственно, к уменьшению тормозного (санкционирующего) воздействия на ДР.

Испытуемый, восприняв сигнал раздражения от ГСР, реагирует на него воздействием на ДР, выключая тем самым ВИУ и ощущая при этом определенное сопротивление перемещению подвижной части ДР из-за возникающей разности аналоговых сигналов U_x и U_y . При нулевом уровне образующейся разности аналоговых сигналов тормозное (санкционирующее) воздействие (z) имеет минимальное значение. В случае опережения или запаздывания при воспроизведении заданного значения времени ЭДР тормозной механизм развивает тормозное (санкционирующее) воздействие (z), пропорциональное абсолютной разности (δt) между заданным (t_x) и текущим (t_y) значениями времени экстренной двигательной реакции.

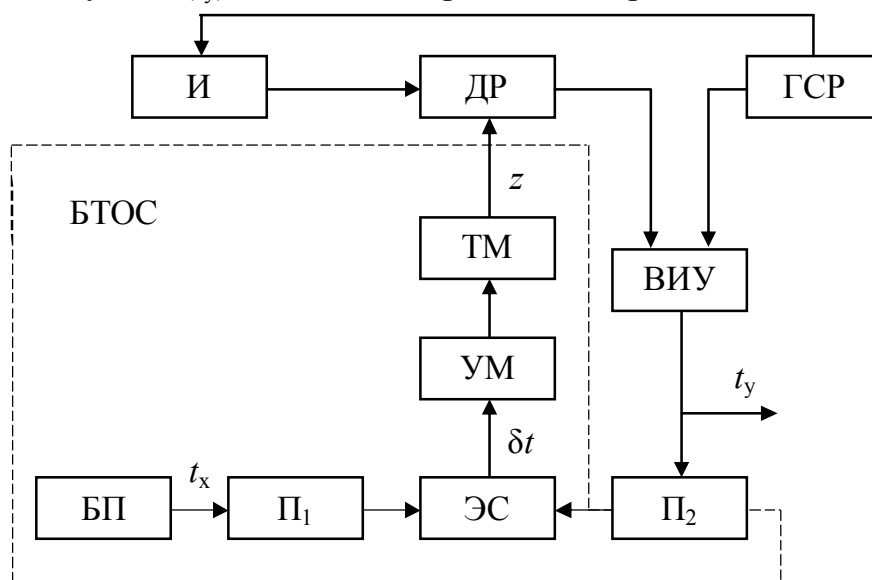


Рисунок 5 – Структурная схема хронореакциометрической системы с БТОС

Таким образом, испытуемый в результате поиска наименьшего сопротивления перемещению подвижной части ДР в процессе предъявления ему случайной последовательности сигналов раздражения от ГСР воспроизводит заданное значение времени экстренной двигательной реакции.

Экспериментальные исследования хронореакциометрической системы с БТОС показали, что уровень саморегуляции времени экстренной двигательной реакции, соответствующий заданному, устанавливается в течение 1-5 минут в зависимости от наличия соответствующих навыков и продолжительности тренинга. В процессе обучения испытуемого с помощью данной системы вырабатывается устойчивая реакция на условный сигнал.

Для метрологического анализа автоматизированной ТПФС нами использован метод, получивший развитие в работах П.В. Новицкого, базирующийся на оценке энтропийного значения погрешности. Энтропийный подход к анализу результирующей погрешности (Δ_p) в автоматизированной ТПФС позволяет рассматривать каждую ее составляющую с позиции теории информации как центрированную случайную величину. С учетом энтропийных коэффициентов (K) и систематических погрешностей (τ):

$$\Delta_p = \tau + K \sqrt{\left(\frac{\Delta_{\text{СИН}}}{K_{\text{СИН}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{ИР}}}{K_{\text{ИР}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{ВИУ}}}{K_{\text{ВИУ}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{ДИ}}}{K_{\text{ДИ}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{ПС}}}{K_{\text{ПС}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{УПР}}}{K_{\text{УПР}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{ИО}}}{K_{\text{ИО}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{ОТ}}}{K_{\text{ОТ}}}\right)^2},$$

где $\Delta_{\text{СИН}}$ – погрешность синхронизации времяизмерительного устройства и источника сигнала раздражения; $\Delta_{\text{ИР}}$ – погрешность источника сигнала раздражения; $\Delta_{\text{ВИУ}}$ – погрешность ВИУ; $\Delta_{\text{ДИ}}$ – погрешность датчика оператора УТС; $\Delta_{\text{ПС}}$ – погрешность преобразователя сигнала оператора; $\Delta_{\text{УПР}}$ – погрешность управления (включения) ВИУ; $\Delta_{\text{ИО}}$ – погрешность, вносимая оператором УТС по каналу фоторецепции; $\Delta_{\text{ОТ}}$ – погрешность отсчета показаний ВИУ.

С учетом инструментальных погрешностей и погрешностей, вносимых оператором УТС, текущее значение результирующей относительной погрешности (γ) измерения времени ЭДР определяется уравнением вида:

$$\gamma = \frac{\Delta_0}{t} + \gamma_s,$$

где t – время реакции, Δ_0 – погрешность нуля, γ_s – относительная погрешность чувствительности измерительной аппаратуры к дестабилизирующему воздействию различных факторов.

При измерении времени ЭДР с помощью автоматизированной ТПФС обеспечиваются высокие метрологические характеристики ($\gamma_s = 0,05$ и $\Delta_0 = 0,30$ мс). Расчет погрешности измерения времени ЭДР приведен в таблице 3.

Таблица 3

t_p , мс	$\frac{\Delta_0}{t_p}$, %	γ_s , %	γ , %
10	3,00	0,05	3,05
30	1,00	0,05	1,05
50	0,60	0,05	0,65
80	0,38	0,05	0,43
100	0,30	0,05	0,35
200	0,15	0,05	0,20

Во всем диапазоне значений времени ЭДР (от 10 до 300 мс) автоматизированная ТПФС обеспечивает весьма малую относительную погрешность, не превышающую 3 %. Это достигается за счет высокой разрешающей способности автоматизированной ТПФС к измерению экстренных двигательных реакций.

Таким образом, выполненные исследования позволили определить метрологические характеристики предлагаемой автоматизированной ТПФС для измерения времени экстренной двигательной реакции. Полученные результаты подтверждают высокую точность оценки времени реакции человека-оператора.

В заключении подведены итоги диссертационного исследования, изложены основные результаты и выводы, обозначены перспективы практического использования результатов исследования и направления дальнейшей работы.

В приложении даны описания фрагмента алгоритма работы оператора в словесной и символической форме, а также его программная реализация на языке программирования Turbo Pascal 7.0.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. В результате анализа существующих подходов к проблеме автоматизации профессионального психофизиологического отбора операторов изучено современное состояние психодиагностической техники хронореакциометрического направления, построена модель тестирующей психофизиологической системы, в основу которой положен принцип биотехнической обратной связи, что обеспечивает расширение функциональных возможностей системы в аспектах оценки профессиональной пригодности и подготовки операторов технологических установок.

2. Разработан метод автоматизированного психофизиологического тестирования оператора, учитывающий качество выполнения оператором технологических операций предписанного алгоритма и обеспечивающий комплексную оценку профессионально важных качеств и психофизиологического состояния человека-оператора. Данный метод позволяет автоматизировать процесс выставления оценки функциональной надежности оператора по результатам его реальной работы в пошаговом режиме, что повышает достоверность этой оценки.

3. Разработан алгоритм количественной оценки готовности оператора сложных технологических установок к выполнению задач профессиональной деятельности, характеризующийся повышенной прогностической способностью для оценки функциональной надежности оператора. Предложенный алгоритм позволяет организовать учет двух основных составляющих функциональной надежности оператора: структурные особенности процесса операторской деятельности (по нормированным коэффициентам стереотипности и логической сложности) и динамику изменения функционального состояния оператора в процессе деятельности (по временным параметрами типологических действий оператора). Данный алгоритм программно реализован на языке программирования Turbo Pascal 7.0.

4. Предложены технические решения для измерения времени экстренной двигательной реакции оператора, предусматривающие метрологический анализ и индивидуальную настройку измерительных звеньев тестирующей психофизиологической системы. Данное устройство позволяет исключить погрешность измерения времени торможения экстренной двигательной реакции, связанную с неравномерностью воздействия испытуемым на датчик двигательной реакции. Учет погрешности измерения времени двигательной реакции обеспечивается программно путем исключения из результатов испытаний статистических параметров указанной погрешности, которые устанавливаются экспериментатором в соответствии с заданным мышечным воздействием испытуемого на датчик.

5. Разработано аппаратно-программное обеспечение автоматизированной тестирующей психофизиологической системы для оценки профессиональной пригодности и подготовки операторов сложных технологических установок. В данной системе для обеспечения саморегуляции (коррекции) времени экстренной двигательной реакции реализован принцип биотехнической обратной связи, согласно которому отклонение от заданного параметра действия автоматически вызывает пропорциональное сопротивление реализации этого действия. Данная система обеспечивает возможность получения объективных данных как констатирующего характера (проверка функциональной надежности оператора), так и прогнозирующего характера (предсказание возникновения нежелательных состояний как причин снижения эффективности его деятельности).

Результаты диссертационного исследования (метод и аппаратно-программное обеспечение) в аспектах психофизиологического обследования операторов могут быть использованы при создании автоматизированных тестирующих и обучающих систем для центров подготовки операторов сложных технологических установок и комплексов специального назначения.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в периодических изданиях, рекомендованных ВАК

1. Плотников С.В. Оценка функциональной надежности человека-оператора при работе на учебно-тренировочных средствах // Виртуальное и дистанционное обучение. 2010. № 5. С. 105-109.
2. Ларцов С.В., Плотников С.В. Алгоритм оценки функциональной надежности операторов сложных технических систем // Информатизация образования и науки. 2010. № 2. С. 114-126.
3. Аксюта Е.Ф., Плотников С.В., Аксюта В.Е. Хронореакциометрическая система с биотехнической обратной связью // Медицинская техника. 2001. № 6. С. 27-28.

Статьи в сборниках научных трудов

4. Плотников С.В. Системы психофизиологического тестирования человека-оператора // Ученые записки. Вып. 29. Развитие отечественной системы информатизации образования в здоровьесберегающих условиях: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции. М.: ИИО РАО, 2009. С. 54-56.
5. Плотников С.В. Хронореакциометрическая система с биотехнической обратной связью // Перспективные технологии в средствах передачи информации: Материалы VIII Международной научно-технической конференции. Владимир: ВГУ, 2009. С. 53-54.
6. Аксюта Е.Ф., Депутатов В.П., Плотников С.В., Аксюта В.Е. Способ и устройство для исследования торможения статической реакции // Необратимые процессы в природе и технике: Тезисы докладов Всероссийской конференции. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. С. 168.
7. Аксюта Е.Ф., Депутатов В.П., Плотников С.В., Аксюта В.Е. Устройство для исследования влияния мышечного усилия на время двигательной реакции // Медицинские информационные системы: Материалы научно-технической конференции. Таганрог: ТРТУ, 2000. С. 90-91.
8. Аксюта Е.Ф., Плотников С.В., Васильченко А.Г., Аксюта В.Е., Джишкариани Г.Д. Метод оценки уровня коррекции параметров двигательных действий человека-оператора функциональных биотехнических систем // Актуальные проблемы современного естествознания: Тезисы докладов II Международной конференции. Калуга: КГПУ, 2000. С. 166-167.
9. Аксюта Е.Ф., Депутатов В.П., Плотников С.В., Аксюта В.Е., Джишкариани Г.Д. Применение ЭВМ в исследованиях экстренных взаимосвязанных реакций // Современные информационные технологии в образовательном процессе и научных исследованиях: Сборник статей к конференции. Шуя: ШГПУ, 2000. С. 11-12.
10. Аксюта Е.Ф., Плотников С.В., Аксюта В.Е., Джишкариани Г.Д. Оценка функциональной готовности оператора при работе на учебно-тренировочных средствах. Шуя, 2000. Деп. в ВИНТИ 31.05.2000, № 1583-В2000. 24 с.

11. Аксюта Е.Ф., Плотников С.В., Аксюта В.Е., Джишкарини Г.Д. Типология действий человека-оператора в моноэргатических системах. Шуя, 2000. Деп. в ВИНТИ 12.04.2000, № 1005-В2000. 24 с.

12. Аксюта Е.Ф., Депутатов В.П., Аксюта В.Е., Плотников С.В. Динамическое тестирование психофизиологического состояния человека-оператора в автоматизированных системах с позиции алгоритмического подхода. Шуя, 1999. Деп. в ВИНТИ 10.03.1999, № 719-В1999. 32 с.

Авторские свидетельства, патенты, информационные карты

13. Устройство для измерения реакции на положение движущегося раздражителя Заявка 21337 Российская Федерация. № 2000127933/20; заявл. 08.11.00; опубл. 20.01.02. 2 с.