

Балхарет Ахмед Абдулла Саид

МОДЕЛИ И МЕТОД ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ИНТЕРФЕЙСА НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ.

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2009

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина).

Научный руководитель –
Заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор Падерно Павел Иосифович

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Песиков Эдуард Борисович
кандидат технических наук, Писарев Андрей Сергеевич

Ведущая организация – Российский государственный технологический университет «МАТИ» им. К.Э.Циолковского (Москва)

Защита диссертации состоится «___» _____ 2009 г. в _____ часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.238.07 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «___» _____ 2009 г.

Ученый секретарь
совета по защите докторских и
кандидатских диссертаций

Цехановский В. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Необходимость автоматизации управления привела к появлению широкого класса человеко-машинных АСУ различного назначения, без которых невозможно представить современную организацию управления. Дальнейшее повышение организационной и технической гибкости управления различными технологическими процессами при решении конкретных задач связано с возрастанием роли человека в современных системах, что обуславливается интеллектуализацией АСУ ТП и возрастанием сложности решаемых задач.

Исследования различных происшествий на объектах энергетики, в том числе на атомных станциях, анализ аварий на воздушном и морском транспорте, анализ брака в процессе изготовления различной продукции, недвусмысленно указывают на основной источник – человека. По атомным станциям - оператор является источником от 70 до 80% нештатных ситуаций, по авариям на воздушном и морском транспорте – причиной до 90% аварий является человеческий фактор, тем или иным образом задействованный в управлении.

Зачастую более конкретной причиной служит тот факт, что оператор, управляющий соответствующим технологическим процессом, не доверяет информации, предоставляемой ему на информационной модели, в том числе, показаниям приборов. Особенно это видно на примере опубликованных в газетах анализов причин недавних катастроф самолетов и вертолетов (низкая облачность и беспричинное снижение, не учет рельефа местности и др.).

По мере роста автоматизации роль оператора постепенно сводится к контролю и управлению в сложных ситуациях. Усложнение технологических процессов приводит к тому, что квалификация оператора должна быть очень высокой в соответствии с уровнем автоматизации всех процессов производства. Одним из главных преимуществ человека является возможность совместить в своих действиях запрограммированность операций в реальном времени с выработкой решений при возникновении нестандартных ситуаций. Человеку свойственно представление о цели деятельности, он способен к построению модели динамического образа управляемого объекта, являющейся психическим новообразованием, синтезированным на основе информационной модели, накопленного опыта и т.д.

Автоматизация производства и управления с использованием ЭВМ выдвинула на передний план проблему организации эффективного взаимодействия машины и человека с учетом особенностей человека как звена системы управления и создания наилучших условий работы.

Структура взаимодействия оператора и ЭВМ при решении задач оперативного управления может быть достаточно гибкой. В простых случаях ЭВМ снабжает оператора информацией для принятия решения и исполняет функции, осуществляя трансформацию и передачу решений, принятых оператором. В более сложных ситуациях машина выступает еще и в роли советчика. На более высоких уровнях автоматизации оператор может задавать машине определенную стратегию контроля, которую та выполняет в соответствии с реальной обстановкой. Человек может адаптироваться к различным условиям, полагаясь на интуицию он способен быстро принимать решения не имея выбора вариантов. Но человек очень быстро утомляется при выполнении однообразных действий. Он подвержен внешним и внутренним воздействиям, его характеристики зависят от психического состояния, он способен к деградации при длительном бездействии.

Многие из недостатков человека могут быть скомпенсированы автоматическими устройствами при рациональном распределении функций между человеком и автоматическими устройствами.

Основными характеристиками работы оператора в ЧМС являются безошибочность, быстрдействие, точность, надежность. Оценкой быстрдействия работы оператора является время решения задачи, которое, вместе с аналогичными показателями информационно-программно-технической части определяет быстрдействие всей АСУ ТП.

Эффективность работы всей системы зависит от того, как будет организовано участие человека в процессе управления.

В современных АСУ ТП одними из наиболее важных и наименее проработанных вопросов являются вопросы организации диалога, в том числе представления необходимой оператору информации в удобной форме. Это обусловлено тем, что в диалоговом режиме опыт, знания, интуиция пользователя и его способности к неформальному решению задач удачно сочетаются с возможностями современных ЭВМ по поиску, хранению и обработке информации. АСУ ТП, благодаря человеку могут функционировать в очень сложных и напряженных ситуациях.

Таким образом, получается, что интерфейс значительно влияет на эффективность управления различными технологическими процессами.

Психическое состояние оператора имеет огромное влияние на изменение эффективности функционирования АСУ, поскольку существенно определяет характер деятельности оператора. Состояние напряженности возникает при работе с неудобным интерфейсом, при выполнении оператором деятельности в трудных условиях. Характер влияния напряженности определяется как ситуацией, так и особенностями личности оператора, мотивацией и т.д.

Данное диссертационное исследование, посвящено решению научно-технической задачи разработки моделей, способов и инструментария для оценки влияния интерфейса и организации деятельности оператора на напряженность и эффективность выполнения дискретных алгоритмов в АСУ ТП, и непосредственно базируется на результатах исследований следующих ученых:

- 1) в области информационных технологий и автоматизированных систем управления: Биденко С.И., Кобзев В. В., Песиков Э. Б., Печников А.Н., Советов Б. Я., Цехановский В. В., Яковлев С. А., Яшин А.И. и др.
- 2) в области оценки влияния деятельности оператора на качество и эффективность сложных систем: Анохин А. Н., Ашерев А. Т., Губинский А. И., Еврафов В. Г., Зараковский Г. М., Львов В. М., Падерно П. И., Суходольский Г. В., Цой Е. Б. и др.

Объектом исследования является деятельность оператора АСУ ТП.

Предметом исследования является оценка влияния интерфейса и организации деятельности оператора на напряженность и эффективность выполнения дискретных алгоритмов.

Цель работы и задачи исследования. Целью настоящей работы является повышение качества проектирования и организации функционирования АСУ ТП за счет всестороннего учета влияния напряженности и изменений характеристик деятельности оператора на эффективность решения поставленных задач.

Для всестороннего учета влияния интерфейса, организации деятельности и других факторов на напряженность деятельности оператора и, следовательно, на эффективность выполнения им дискретных алгоритмов деятельности необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать комплекс моделей описания и способ получения аналитических оценок зависимостей безошибочности и своевременности выполнения алгоритмов дискретной деятельности от изменения значений показателей выполнения предписанных функций и операций (для различных структур алгоритмов деятельности и различных зависимостей изменения показателей).
2. Разработать комплекс формальных моделей описания и метод оценки напряженности дискретной деятельности оператора.
3. Разработать требования к информационно-программному модулю автоматизированной оценки напряженности деятельности оператора, теоретически обосновать и реализовать комплекс методик оценки и реализующих их алгоритмов.
4. Создать инструмент (информационно-программный модуль) для автоматизированной оценки напряженности деятельности оператора.
5. Провести проверку адекватности созданных методик, алгоритмов и работоспособности разработанного информационно-программного модуля путем экспериментальной автоматизированной оценки напряженности деятельности пользователей, решающих конкретные задачи.

Методы исследования. В работе использованы методы теории систем и системного анализа, эргономики и инженерной психологии, методы теории вероятностей, экспертных оценок и математической статистики.

Основные положения, выносимые на защиту:

- Комплекс моделей для оценки показателей безошибочности и быстродействия выполнения задачи при изменении характеристик дискретной деятельности оператора.
- Модели и метод оценки напряженности деятельности оператора.
- Автоматизированный информационно-программный модуль оценки напряженности деятельности оператора.

Новизна первого научного результата

Комплекс моделей отличается от известных возможностью учета изменений показателей безошибочности и быстродействия отдельных операций, входящих в алгоритм, на основе полученных аналитических зависимостей.

Новизна второго научного результата

Отличие от известных подходов и способов состоит в формализованном определении напряженности и возможности получения аналитических оценок средней напряженности деятельности оператора для ряда типовых структур алгоритмов дискретной деятельности при ее различных проявлениях (оператор нервничает, топчется и др.) и видах закономерностей изменения напряженности деятельности.

Новизна третьего результата

Разработанный *модуль*, реализованный в виде автоматизированного опросника, отличается возможностью оценки напряженности деятельности в зависимости от качества интерфейса, организации деятельности, личностных особенностей оператора.

Научная и практическая ценность диссертационной работы заключаются в том, что разработанные комплексы моделей и способы получения аналитических зависимостей можно рассматривать как единую технологию исследования и оценки влияния напряженности деятельности оператора на эффективность функционирования АСУ ТП в целом, являющуюся продолжением идей обобщенной функционально-структурной теории. Разработанный *модуль* оценки напряженности деятельности оператора может быть использован для:

- оценки качества разрабатываемых информационно-программных средств (ИПС) и технологий на этапах проектирования на основе оценки напряженности деятельности оператора;
- оценки удобства и совершенствование создаваемых ИПС, предназначенных для обеспечения эффективной работы оператора (интерфейса, тренажеров, электронных учебников, учебных пособий и др. материалов).

Результаты *внедрены* в учебный процесс СПбГЭТУ /ЛЭТИ/ и Дальневосточного государственного университета путей сообщения, а программный модуль *зарегистрирован* в федеральной службе по интеллектуальной собственности патентам и товарным знакам «РОСПАТЕНТ», и *используется* в ООО «ЭргоАйТи» при анализе интерфейсов, о чем имеются соответствующие документы.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на:

- Ежегодных научно-технических конференциях профессорско - преподавательского состава СПбГЭТУ /ЛЭТИ/ (2007 – 2009 гг.);
- 5-й и 7-й международных конференциях «Психология и эргономика. Единство теории и практики», 2007г., 2009г. (г. Тверь);
- XIII, XIV и XV Международных конференциях «Современное образование: содержание, технологии, качество» СПбГЭТУ /ЛЭТИ/ (2007 – 2009 гг.);
- VI Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых СПбГУ ИТМО 2009г.
- Тринадцатой всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Энергетика: экология, надежность, безопасность», 2007г. (г. Томск).
- XXXIV и XXXV Международных молодежных научных конференциях «Гагаринские чтения», РГТУ /МАТИ/, 2008г., 2009г. (г. Москва).
- Шестой международный аэрокосмический конгресс «IАС'09», 2009г. (г. Москва).

Публикации: По теме диссертации опубликована 24 научные работы, из них – 9 статей (в т.ч. в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК – 4 статьи), 14 работ – в материалах международных и всероссийских научно-технических конференций, и одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав с выводами, заключения, списка использованной литературы, включающего 91 наименование, и 3-х приложений. Основная часть диссертации изложена на 157 страницах машинописного текста. Работа содержит 42 рисунка и 12 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, сформулированы основные положения и научные результаты, выносимые на защиту, дана краткая характеристика их новизны, достоверности и практической ценности.

В первой главе проведен анализ АСУ ТП, как интеллектуальной человеко-машинной системы (ЧМС), который позволил выявить несоответствие возрастания требований к оператору и отсутствия методов и моделей, позволяющих учитывать влияние изменений показателей его деятельности. Показано, на основе опроса экспертов и метода анализа иерархий, что основными причинами, снижающими эффективность функционирования АСУ ТП, являются неудобный интерфейс и/или плохая организация деятельности оператора.

Предложено использовать напряженность деятельности в качестве индикатора удобства работы оператора и, следовательно, индикатора правильности реализации взаимодействия оператора и информационно-программного комплекса.

Проведен анализ комплекса моделей и методов описания и оценки качества деятельности оператора в информационных технологиях.

В результате анализа методов описания и оценки качества деятельности оператора в информационных технологиях, показано, что существующие методы *не приспособлены для учета* изменений показателей безошибочности и своевременности выполнения отдельных операций, а также напряженности деятельности оператора при описании и оценке процессов функционирования АСУ ТП.

На основе проделанного анализа сформулированы:

1. Основные противоречия, определяющие актуальность исследования.
2. Цель, объект и предмет исследования.
3. Основные задачи исследования.

Во второй главе проведено исследование влияния изменения показателей выполнения отдельных операций и напряженности деятельности оператора на эффективность выполнения алгоритма в целом.

Исследованы шесть типовых функциональных структур (ТФС) (рис. 1), иллюстрирующих деятельность оператора в случае возможного многократного решения задачи. Все аналитические зависимости, приведенные далее, относятся только к ТФС 1. В диссертационной работе зависимости получены для всех структур.

Разработан комплекс моделей для оценки вероятностей выполнения алгоритмов в целом, в зависимости от изменения безошибочности выполнения отдельных операций (для различных законов изменения).

Результирующие вероятности правильного $P(A)$ и неправильного $P(B)$ решения задачи имеют следующий вид:

$$P(A) = \sum_{i=1}^{\infty} P(A_i), \quad P(B) = \sum_{i=1}^{\infty} P(B_i).$$

Результирующие формулы для типовой функциональной структуры ТФС 1 (рис. 1) “Рабочая операция (Р) с контролем функционирования (К) без ограничения на количество циклов”

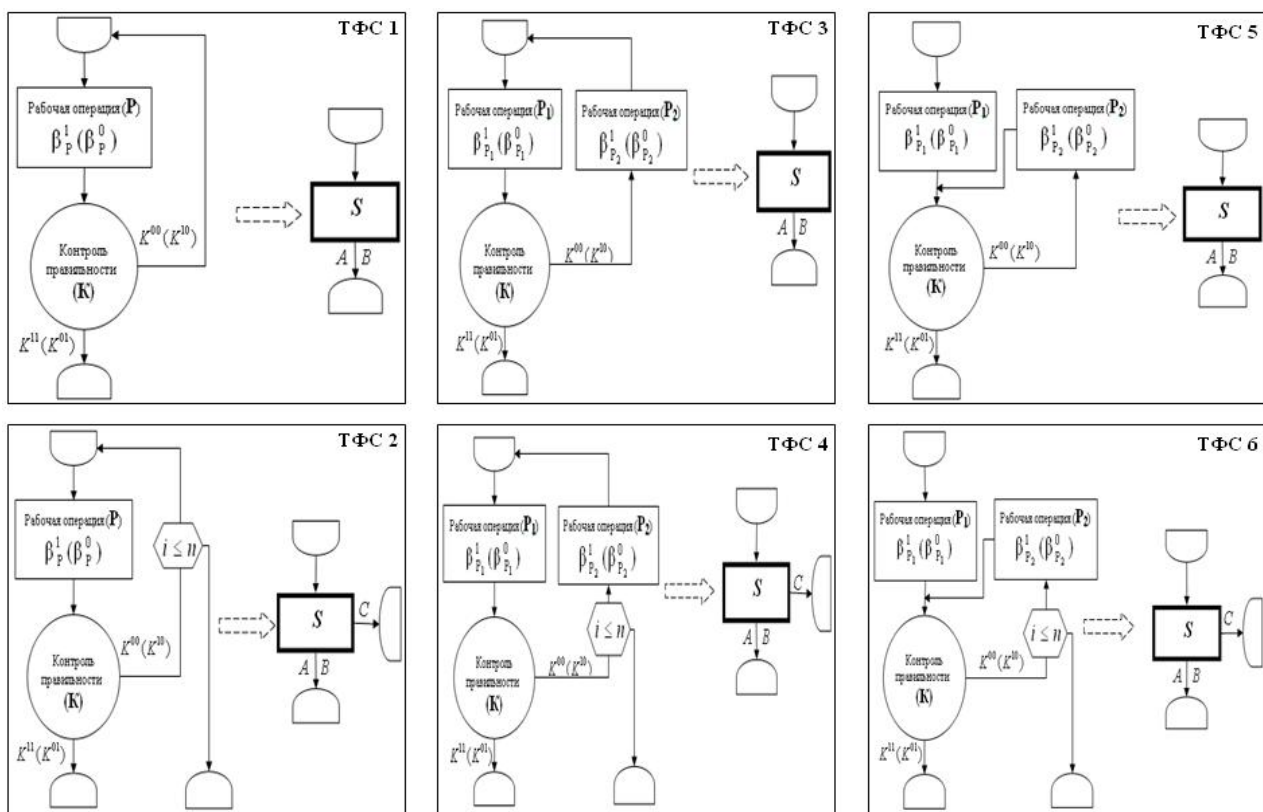


Рис. 1. Основные типовые функциональные структуры дискретной деятельности оператора при многократном решении задачи

Условные обозначения: K_i^{11} (K_i^{10}) – условная вероятность того, что проверяемая операция при фактически правильном выполнении будет признана правильной (неправильной) на i -м шаге ($K_i^{11} + K_i^{10} = 1$); K_i^{00} (K_i^{01}) – условная вероятность того, что проверяемая операция при фактически неправильном выполнении будет признана неправильной (правильной) на i -м шаге (после i повторений) ($K_i^{00} + K_i^{01} = 1$); $\beta_{P_i}^1$ ($\beta_{P_i}^0$) – вероятность безошибочного (ошибочного) выполнения рабочей операции на i -м шаге (после i повторений).

Исходы A_i обозначают, что операция выполнена правильно на i -м шаге и i -й контроль признал, что операция выполнена правильно, а до этого момента были повторы. Исходы B_i обозначают, что на i -м шаге операция выполнена неверно, однако i -й контроль признал, что она выполнена правильно, а до этого момента были повторы. Исход C_i означает *только* необходимость повтора на i -м шаге.

$$P(A_1) = \beta_{P_1}^1 \cdot K_1^{11}, \quad P(B_1) = \beta_{P_1}^0 \cdot K_1^{01}, \quad P(C_1) = \beta_{P_1}^1 \cdot K_1^{10} + \beta_{P_1}^0 \cdot K_1^{00}.$$

$$P(A_i) = \beta_{P_i}^1 \cdot K_i^{11} \cdot \prod_{j=1}^{i-1} P(C_j), \quad P(B_i) = \beta_{P_i}^0 \cdot K_i^{01} \cdot \prod_{j=1}^{i-1} P(C_j), \quad P(C_i) = (\beta_{P_i}^1 \cdot K_i^{10} + \beta_{P_i}^0 \cdot K_i^{00}).$$

$$P(A) = \sum_{i=1}^{\infty} (\beta_{P_i}^1 \cdot K_i^{11} \cdot \prod_{j=1}^{i-1} (\beta_{P_j}^1 \cdot K_j^{10} + \beta_{P_j}^0 \cdot K_j^{00})), \quad P(B) = \sum_{i=1}^{\infty} (\beta_{P_i}^0 \cdot K_i^{01} \cdot \prod_{j=1}^{i-1} (\beta_{P_j}^1 \cdot K_j^{10} + \beta_{P_j}^0 \cdot K_j^{00})).$$

Рассмотрены случаи, когда оператор устает.

Введем в рассмотрение коэффициент усталости $\alpha < 1$:

1. Если контроль полностью автоматический, т.е. характеристики контроля неизменны, а изменяются (ухудшаются) только вероятности правильного вы-

полнения рабочей операции ($\beta_{P_i}^1 = \beta_{P_1}^1 \cdot \alpha^{i-1}$). Тогда

$$P(A) = \sum_{i=1}^{\infty} (\beta_{P_1}^1 \cdot \alpha^{i-1} \cdot K^{11} \cdot \prod_{j=1}^{i-1} (\beta_{P_1}^1 \cdot \alpha^{j-1} \cdot (1 - K^{11}) + (1 - \beta_{P_1}^1 \cdot \alpha^{j-1}) \cdot K^{00})).$$

Обычно вероятности признать верно выполненную операцию выполненной правильно и забраковать неправильно выполненную операцию равны $K^{00} = K^{11} = K$. Тогда предыдущая формула принимает следующий вид

$$P(A) = \beta_{P_1}^1 \cdot K \cdot \sum_{i=1}^{\infty} (\alpha^{i-1} \cdot \prod_{j=1}^{i-1} (K + \beta_{P_1}^1 \cdot \alpha^{j-1} - 2 \cdot K \cdot \beta_{P_1}^1 \cdot \alpha^{j-1})).$$

2. Если контроль частично автоматизирован, то характеристики правильности контроля K^{00} и K^{11} также меняются на каждом шаге. Если они меняются одинаково, т.е. $K_i^{00} = K^{00} \cdot \gamma^{i-1}$, $K_i^{11} = K^{11} \cdot \gamma^{i-1}$, где $\gamma < 1$, то

$$P(A) = \beta_{P_1}^1 \cdot K^{11} \cdot \sum_{i=1}^{\infty} (\alpha^{i-1} \cdot \gamma^{i-1} \cdot \prod_{j=1}^{i-1} (\beta_{P_1}^1 \cdot \alpha^{j-1} \cdot (1 - K^{11} \cdot \gamma^{j-1}) + (1 - \beta_{P_1}^1 \cdot \alpha^{j-1}) \cdot K^{00} \cdot \gamma^{j-1})).$$

Для $K^{00} = K^{11} = K$ получаем

$$P(A) = \beta_{P_1}^1 \cdot K \cdot \sum_{i=1}^{\infty} ((\alpha \cdot \gamma)^{i-1} \cdot \prod_{j=1}^{i-1} (\beta_{P_1}^1 \cdot \alpha^{j-1} + K \cdot \gamma^{j-1} - 2 \cdot K \cdot \beta_{P_1}^1 \cdot (\gamma \cdot \alpha)^{j-1})).$$

Получен ряд аналитических зависимостей для оценки вероятностей выполнения задачи в зависимости от построения (организации) алгоритма деятельности (для 6 типовых алгоритмов). Комплекс моделей отличается от известных возможностью учета влияния изменения безошибочности выполнения операций, входящих в алгоритм, на вероятности правильного выполнения алгоритма в целом.

Комплекс моделей для оценки *времени* выполнения алгоритма в целом, в зависимости от изменения времени выполнения отдельных операций (для различных законов изменения).

ТФС 1 может быть сведена к некоторой укрупненной операции S (рис. 1), среднее время выполнения которой может быть вычислено по формуле:

$$T_S = \sum_{i=1}^{\infty} ((P(A_i) + P(B_i)) \cdot (\sum_{j=1}^i T_j) \cdot \prod_{j=1}^{i-1} P(C_j)),$$

где: $T_j = T_{P_j} + T_{K_j}$. T_{P_j} (T_{K_j}) - среднее время выполнения рабочей операции (контроля) на i -м шаге (после i повторений).

Если характеристики безошибочности деятельности оператора постоянны во времени, что возможно только для опытного оператора, то среднее время выполнения оператором всего алгоритма может быть вычислено по формуле:

$$T_S = \sum_{i=1}^{\infty} T_i \cdot (P(C))^{i-1}.$$

Частные случаи

1. Продолжительность выполнения рабочей и контрольной операции возрастают, т.е. $T_{P_1} \leq T_{P_2} \leq \dots \leq T_{P_n}$, $T_{K_1} \leq T_{K_2} \leq \dots \leq T_{K_n}$. Тогда в предположении об экспоненциальном увеличении среднего времени выполнения операций

($T_{P_i} = T_P \cdot q^{i-1}$, $T_{K_i} = T_K \cdot r^{i-1}$, $q > 1, r > 1$) $q^{i-1} (r^{i-1})$ – коэффициент, отражающий изменение длительности рабочей операции (контроля) среднее время выполнения алгоритма для ТФС 1 можно вычислить по следующей формуле:

$$T_S = \frac{T_P}{(1-q \cdot P(C)) \cdot (1-P(C))} + \frac{T_K}{(1-r \cdot P(C)) \cdot (1-P(C))},$$

2. Увеличивается только время выполнения рабочей операции $T_{P_1} \leq T_{P_2} \leq \dots \leq T_{P_n}$. Тогда в предположении об экспоненциальном увеличении длительности выполнения рабочей операции ($T_{P_i} = T_P \cdot q^{i-1}$, $T_{K_i} = T_K$, $q > 1$) среднее время выполнения алгоритма вычислить по следующей формуле:

$$T_S = \frac{T_P}{(1-q \cdot P(C)) \cdot (1-P(C))} + \frac{T_K}{(1-P(C))^2}.$$

3. Время выполнения и рабочей и контрольной операции уменьшается $T_{P_1} \geq T_{P_2} \geq \dots \geq T_{P_n}$, $T_{K_1} \geq T_{K_2} \geq \dots \geq T_{K_n}$. Тогда в предположении об экспоненциальном уменьшении средней длительности выполнения рабочей операции ($T_{P_i} = T_P \cdot q^{i-1}$, $T_{K_i} = T_K \cdot r^{i-1}$, $q < 1, r < 1$) время выполнения алгоритма:

$$T_S = \frac{T_P}{(1-q) \cdot (1-P(C))} + \frac{T_K}{(1-r) \cdot (1-P(C))}.$$

4. Уменьшается только длительность рабочей операции ($T_{P_1} \geq T_{P_2} \geq \dots \geq T_{P_n}$). Тогда в предположении об экспоненциальном уменьшении длительности рабочей операции ($T_{P_i} = T_P \cdot q^{i-1}$, $T_{K_i} = T_K$, $q < 1$.) среднее время выполнения алгоритма оператором можно вычислить по формуле:

$$T_S = \frac{T_P}{(1-q) \cdot (1-P(C))} + \frac{T_K}{(1-P(C))^2}.$$

Получен ряд аналитических зависимостей для оценки средней продолжительности (среднего времени) выполнения задачи в зависимости от построения (организации) алгоритма дискретной деятельности (для 6 типовых алгоритмов). Комплекс моделей отличается от известных возможностью учета влияния изменения времени выполнения операций на длительность выполнения алгоритма в целом.

Разработан комплекс моделей и способ оценки напряженности дискретной деятельности оператора.

При оценке напряженности деятельности полагаем, что интегральной характеристикой напряженности деятельности оператора является средняя напряженность, а напряженная работа в течение некоторого времени вызывает усталость.

Введем следующие обозначения:

$\mu(t)$ - мгновенное значение напряженности деятельности $\mu(t) \geq 0$;

$m(t_1, t_2)$ - среднее значение напряженности на интервале $[t_1, t_2]$;

$M(t_1, t_2)$ - интегральное значение напряженности на интервале времени $[t_1, t_2]$.

Тогда имеют место следующие соотношения

$$M(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \mu(t) dt,$$

$$m(t_1, t_2) = M(t_1, t_2) / (t_2 - t_1) = \int_{t_1}^{t_2} \mu(t) dt / (t_2 - t_1).$$

На рисунке 2 приведен пример изменения напряженности деятельности оператора и показана средняя напряженность на некотором интервале времени.

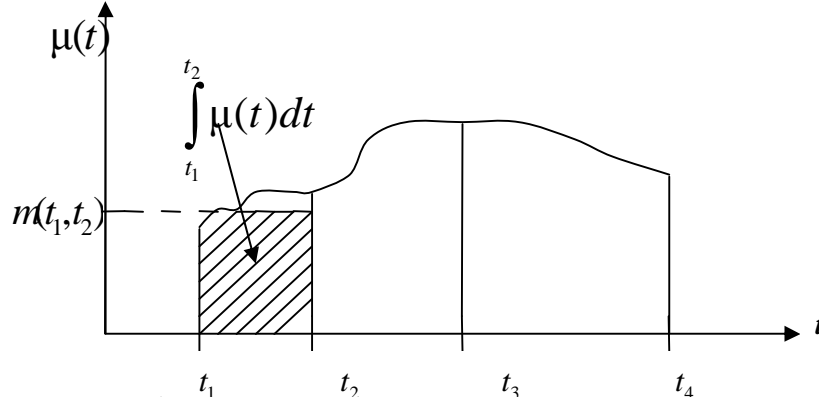


Рис.2. Пример изменения напряженности деятельности оператора

Видно, что функция $M(t_1, t_4)$ является аддитивной, то есть

$$M(t_1, t_4) = M(t_1, t_2) + M(t_2, t_3) + M(t_3, t_4), \text{ где } t_1 < t_2 < t_3 < t_4,$$

Тогда выполняется равенство

$$m(t_1, t_4) = \frac{(t_2 - t_1) \cdot m(t_1, t_2) + (t_3 - t_2) \cdot m(t_2, t_3) + (t_4 - t_3) \cdot m(t_3, t_4)}{t_4 - t_1}.$$

Ввиду того, что выполнение ТФС 1 (рис. 1) может закончиться на любом шаге, введем в рассмотрение случайную величину

$$\eta_i = \left(\sum_{j=1}^i (M_{P_j} + M_{K_j}) \right) / \sum_{j=1}^i (T_{P_j} + T_{K_j}),$$

Где: M_{P_j} - интегральное значение напряженности выполнения рабочей операции на j -м шаге $M_{P_j} = \alpha_{P_j} \cdot T_{P_j} \cdot m_P$, M_{K_j} - интегральное значение напряженности выполнения контрольной операции на j -м шаге $M_{K_j} = \alpha_{K_j} \cdot T_{K_j} \cdot m_K$; m_P - напряженность выполнения рабочей операции в начальный момент времени; α_{P_j} - коэффициент, отражающий изменение напряженности выполнения рабочей операции на j -м шаге (после j повторений); m_K - напряженность выполнения контрольной операции в начальный момент времени; α_{K_j} - коэффициент, отражающий изменение напряженности выполнения контрольной операции на j -м шаге (после j повторений).

Случайная величина η_i - это есть средняя напряженность оператора при выполнении исследуемой ТФС, при условии окончания процесса на i -м шаге.

Средняя напряженность деятельности оператора может быть вычислена по следующей формуле

$$\bar{\eta} = \sum_{i=1}^{\infty} p_i \cdot \eta_i,$$

Замечание. Возможны случаи, когда время выполнения операций также меняется, т.е. оператор начинает торопиться, что влечет изменение напряженности.

Рассмотрим ряд *частных* случаев (законов изменения напряженности деятельности оператора), полагая, что время выполнения операций не меняется.

Случай 1. Напряженность оператора неизменна, т.е. $\alpha_{p_j} = \alpha_{k_j} = 1$.

Значение m есть средняя напряженность выполнения рабочей и контрольной операции на каждом шаге. Если $\eta_i = m \quad \forall i$, то $\bar{\eta} = m$.

Оператор нервничает

Случай 2. Напряженность выполнения операций изменяется линейно, т.е. $\alpha_{p_j} = 1 + (j-1) \cdot \Delta P$, $\alpha_{k_j} = 1 + (j-1) \cdot \Delta K$. Тогда, учитывая тот факт, что вероятность окончания процесса на i -м шаге равна $P_i = B^{i-1} \cdot A$, где $A = \beta^1 K^{11} + \beta^0 K^{01}$, $B = 1 - A$, получаем

$$\bar{\eta} = m + \frac{B}{A} \cdot \frac{T_p \cdot m_p \cdot \Delta P + T_k \cdot m_k \cdot \Delta K}{2(T_p + T_k)}.$$

В случае, если относительные изменения напряженности при выполнении рабочей и контрольной операций одинаковы ($\Delta P = \Delta K = \Delta$), то получаем

$$\bar{\eta} = m + \frac{B \cdot \Delta}{A} \cdot \frac{T_p \cdot m_p + T_k \cdot m_k}{2(T_p + T_k)} = m \left(1 + \frac{B \cdot \Delta}{2A} \right).$$

Случай 3. Экспоненциальные изменения ($\alpha_{p_j} = \alpha_p^{j-1}$, $\alpha_{k_j} = \alpha_k^{j-1}$, $\alpha_p > 1$, $\alpha_k > 1$).

$$\bar{\eta} = \frac{A}{B(T_p + T_k)} \cdot \left(\frac{T_p \cdot m_p}{\alpha_p - 1} \cdot \ln \frac{1 - B}{1 - B \cdot \alpha_p} + \frac{T_k \cdot m_k}{\alpha_k - 1} \cdot \ln \frac{1 - B}{1 - B \cdot \alpha_k} \right).$$

В случае, когда относительные изменения напряженности при выполнении рабочей и контрольной операций одинаковы ($\alpha_p = \alpha_k = \alpha$).

$$\bar{\eta} = -m \cdot \frac{A}{B(\alpha - 1)} \cdot \ln \left(1 - \frac{B \cdot (\alpha - 1)}{A} \right).$$

Оператор торопится

Рассмотрим случаи, когда после выявленной ошибки оператор начинает торопиться, что не сказывается на безошибочности, но увеличивает напряженность деятельности. Будем полагать, что изменения напряженности деятельности обратно пропорциональны сокращению времени выполнения операций

Таким образом, имеем следующие соотношения:

$$T_{p_j} = \beta_{p_j} \cdot T_p, \quad T_{k_j} = \beta_{k_j} \cdot T_k, \quad \text{где } \beta_{p_j} < 1, \quad \beta_{k_j} < 1, \quad m_{p_j} = \alpha_{p_j} \cdot m_p = \frac{c_p}{\beta_{p_j}} \cdot m_p, \quad m_{k_j} = \alpha_{k_j} \cdot m_k = \frac{c_k}{\beta_{k_j}} \cdot m_k$$

Случай 4. Линейные изменения. $T_{p_j} = \frac{T_p}{1+(j-1) \cdot \Delta T_{p_1}}$, $\alpha_{p_j} = \alpha_p \cdot (1+(j-1) \cdot \Delta \alpha_{p_1})$,

$T_{k_j} = \frac{T_k}{1+(j-1) \cdot \Delta T_{k_1}}$, $\alpha_{k_j} = \alpha_k \cdot (1+(j-1) \cdot \Delta \alpha_{k_1})$. Полагая, что время выполнения и напряженность при выполнении рабочей и контрольной операций изменяются одинаково $\Delta T_{p_1} = \Delta T_{k_1} = \Delta T$, $\Delta \alpha_{p_1} = \Delta \alpha_{k_1} = \Delta \alpha$, получаем

Среднее значение напряженности равно

$$\bar{\eta} = \alpha \cdot m \cdot A \cdot \sum_{i=1}^{\infty} (B^{i-1} \cdot i / \sum_{j=1}^i \frac{1}{j}).$$

Случай 5. Экспоненциальные изменения. $T_{p_j} = \beta_p^j \cdot T_p$, $T_{k_j} = \beta_k^j \cdot T_k$, тогда

$m_{p_j} = \alpha_p \cdot \frac{m_p}{\beta_p^j}$, $m_{k_j} = \alpha_k \cdot \frac{m_k}{\beta_k^j}$, где $\beta_p < 1$, $\beta_k < 1$. Если время выполнения рабочей контрольной операции сокращаются одинаково, т.е. $\beta_p = \beta_k = \beta$ получаем

Среднее значение напряженности равно

$$\bar{\eta} = m \cdot A \cdot (1-\beta) \cdot \sum_{i=1}^{\infty} B^{i-1} \cdot \frac{i}{(1-\beta^i)}.$$

Получена аналитическая оценка средней напряженности для комплекса типовых структур алгоритмов дискретной деятельности при различных проявлениях напряженности деятельности оператора (нервничает, торопится и др.) и двух видах закономерностей изменения значения напряженности. Комплекс моделей отличается от известных подходов и способов возможностью получения аналитических зависимостей для оценки средней напряженности деятельности оператора.

Разработанный комплекс моделей и метод получения аналитических зависимостей можно рассматривать как единую технологию исследования и оценки влияния изменений деятельности оператора на эффективность функционирования АСУ ТП в целом, являющуюся продолжением идей обобщенной функционально-структурной теории.

Третья глава. Для реализации разработанных моделей и метода получения оценок эффективности выполнения алгоритмов на этапе проектирования *необходимо получение* исходных данных о влиянии интерфейса и организации деятельности на напряженность деятельности оператора, для чего следует:

- разработать простой и надежный способ получения необходимых исходных характеристик, не зависящий от специфики деятельности оператора;
- разработать автоматизированный информационно-программный модуль, позволяющий оценить влияние интерфейса и организации деятельности оператора на напряженность его деятельности
- провести испытания разработанного автоматизированного информационно-программного модуля на конкретных информационно-программных продуктах.

Для оценки влияния изменения напряженности деятельности оператора на результативность деятельности и на её привлекательность предложено использовать *субъективную* оценку (самооценку) оператора.

Разработан опросник, основанный на предъявлении изображения специального вида, позволяющий получать субъективную оценку оператором напряженности

его деятельности в виде реакции на задаваемый вопрос (предъявляемое изображение). Исследована периодичность предъявления опросника и оценена возможная ошибка при оценке средней напряженности. Сформирован комплекс требований к автоматизированной оценке напряженности (АОН) деятельности оператора, и разработан программный модуль, реализующий автоматизированный опрос.

Разработанный модуль АОН:

- реализует опросник, позволяющий, параллельно с основной работой оператора (рис. 3), фиксировать самооценку напряженности его деятельности;
- не вызывает негативных ощущений у оператора и не влияет на напряженность и результативность деятельности за счет эргономичного интерфейса (картинок);
- достаточно прост и не требует специальных знаний (время ознакомления оператора с опросником – 1 - 2 минуты).

Модуль АОН является *инструментом* для оценки интерфейса и организации деятельности оператора на основе оценки напряженности его деятельности, в том числе и в процессе проектирования.

Области применения:

- оценка качества разрабатываемых информационно-программных средств (ИПС) и технологий на основе оценки напряженности деятельности оператора;
- совершенствование ИПС (интерфейса, тренажеров, электронных учебных материалов), предназначенных для обеспечения эффективной работы оператора.

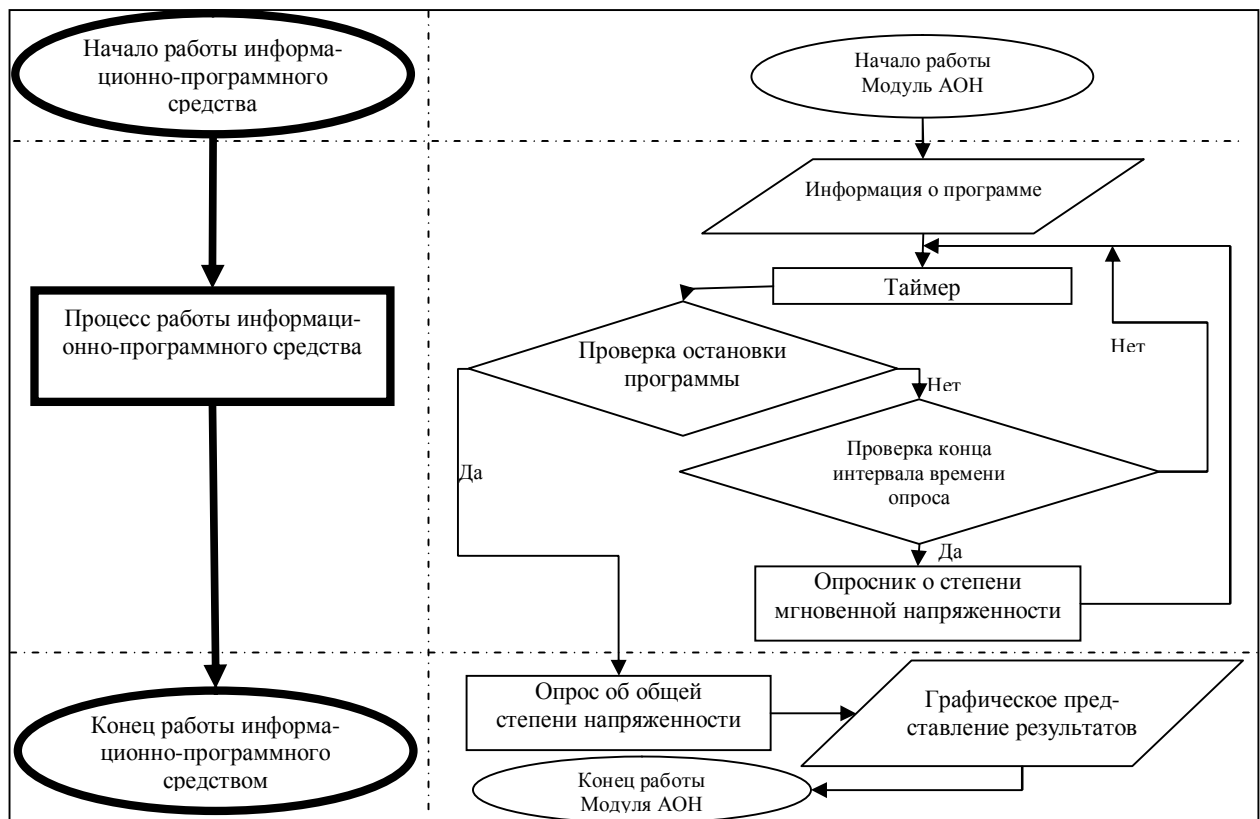


Рис. 3. Схема алгоритма работы модуля АОН

Четвертая глава. Для подтверждения теоретических выводов и предположений, и для подтверждения эффективности предлагаемого подхода и разработанного модуля *был проведен эксперимент.*

Целью эксперимента была оценка возможностей модуля АОН.

Модуль АОН был испытан на двух однородных группах обучаемых, работавших в системе дистанционного обучения с использованием различных технологий представления электронных учебных материалов (ЭУМ) (текст, аудио, видео). Было выбрано три различных ЭУМ, и для каждого реализовано три различных способа представления информации. Все девять вариантов ЭУМ были распределены случайным образом по обучаемым, чтобы каждый обучаемый получил три различных ЭУМ в трех различных представлениях. Сформированы и предъявлены вопросы по каждой ЭУМ - независимо от способа ее представления для оценки уровня усвоения ЭУМ.

В результате эксперимента получены следующие результаты:

1. Средняя степень напряженности деятельности обучаемого при видеопредставлении ЭУМ меньше, чем при других способах представления ЭУМ (рис.4).

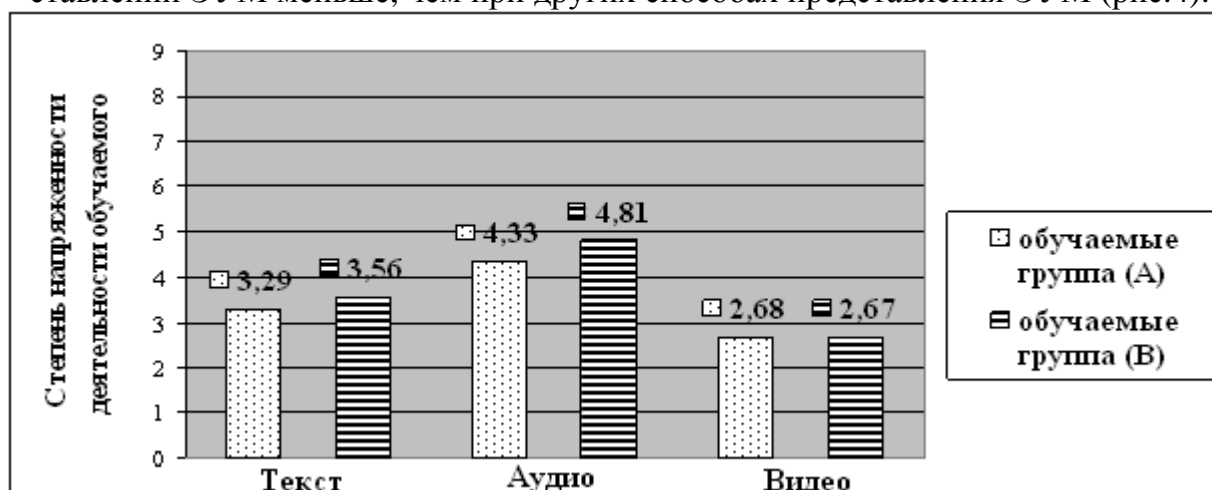


Рис. 4. Средняя степень напряженности деятельности испытуемых группы (А и Б), при различном представлении ЭУМ

2. Средняя степень уровня усвоения знаний обучаемым при видеопредставлении ЭУМ больше, чем при других способах представления ЭУМ.
3. Степень уровня усвоения ЭУМ не всегда правильно отражает степень напряженности деятельности обучаемого.
4. Модуль АОН не вызывает раздражения и негативной реакции.
5. Оценка степени напряженности деятельности обучаемого без применения модуля АОН не всегда правильно отражает реальную напряженность (рис. 5).

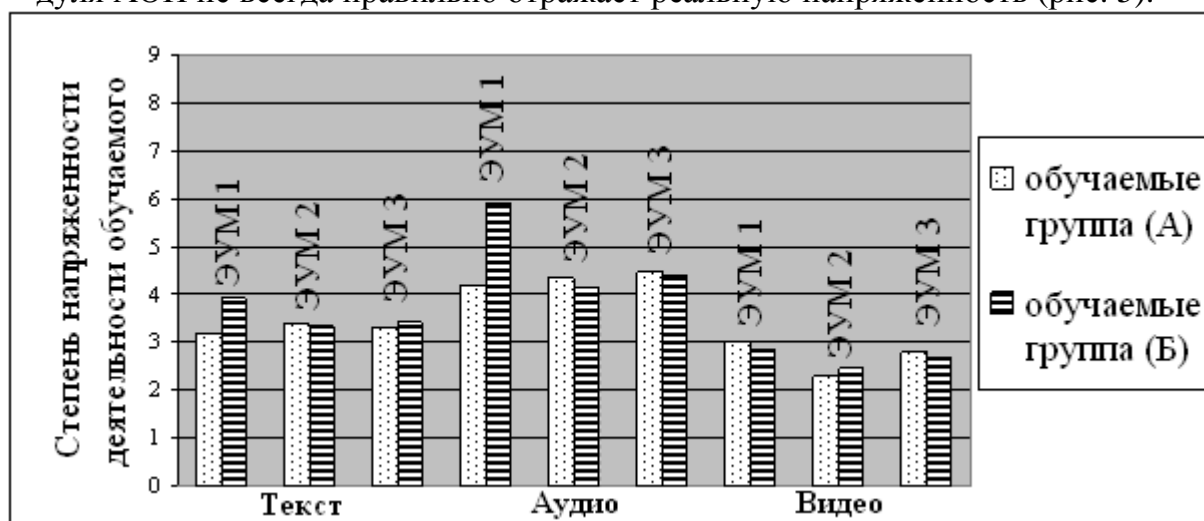


Рис. 5. Средняя степень напряженности деятельности испытуемых группы (А и Б)

6. Модуль АОН позволяет оценить степень напряженности деятельности оператора (обучаемого) в течение определенного интервала времени.

Особенно эффективно использование предлагаемого модуля АОН при тестировании (конечным пользователем) информационно-программных продуктов. Реакция тестируемого позволяет выявить слабые места с точки зрения представления (изложения) материала.

В заключении перечислены основные научные и практические результаты работы, а также предложения по их возможному использованию.

В приложении 1 содержатся: - анкеты для сравнения важности влияния различных показателей на эффективность работы оператора при управлении технологическим процессом; - опросные листы с мнениями экспертов о важности влияния различных показателей на эффективность работы оператора; - оценка значимости вклада факторов в эффективность функционирования АСУ ТП в целом.

Приложение 2 содержит акты внедрения и использования результатов: в учебном процессе Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета СПбГЭТУ; в учебном процессе Дальневосточного государственного университета, в ООО «ЭргоАйТи».

Приложение 3 содержит Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные результаты проделанной работы можно сформулировать следующим образом:

1. Комплекс моделей для оценки показателей безошибочности и быстродействия выполнения задачи при изменении характеристик дискретной деятельности оператора.
2. Модели и метод оценки напряженности деятельности оператора.
3. Автоматизированный информационно-программный модуль оценки напряженности деятельности оператора.

Перспективы и области применения разработанного модуля АОН:

- оценка качества разрабатываемых информационно-программных средств и технологий;
- оценка удобства и совершенствование создаваемого интерфейса, тренажеров, электронных учебников и др. материалов.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России

1. Балхарет А.А. Модуль оценки напряженности деятельности оператора. [Текст] / А. А. Балхарет. // Научный журнал "Информационно-управляющие системы" «ГУАП» – СПб., 2009. –№ 3. – С. 72 – 74.

2. Балхарет А.А. Автоматизированный модуль оценки напряженности деятельности оператора. [Текст] / А. А. Балхарет. // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики «СПбГУ ИТМО» – СПб., 2009 – № 03. – С. 63 – 68.

3. Балхарет А.А. Модель оценки времени выполнения задачи в зависимости от изменения напряженности деятельности оператора. [Текст] / А. И. Краснова, П. И. Падерно, А. А. Балхарет. // Научный журнал "Информационно-управляющие системы" «ГУАП» – СПб., 2009. –№ 4. – С. 72 – 74.

4. Балхарет А.А. Оценка напряженности деятельности оператора на основе автоматизированного опроса. [Текст] / А. А. Балхарет, П. И. Падерно. // Научно-технический журнал "Приборостроение" Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики «СПбГУ ИТМО» – СПб., 2009.– № 7. – С. 22 – 26.

Другие публикации:

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

5. Балхарет А.А. Программный модуль автоматизированной оценки напряженности деятельности оператора (Модуль оценки напряженности оператора). [Текст] / Н. А. Назаренко, А. А. Балхарет, П. И. Падерно. // Федеральная служба по интеллектуальной собственности патентам и товарным знакам «РОСПАТЕНТ» – Москва, 2009.– № 2009612686.

Статьи:

6. Балхарет А.А. Оценка напряженности деятельности оператора на стадии проектирования алгоритмов деятельности. [Текст] / А. А. Балхарет, П. И. Падерно. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Известия государственного электротехнического университета). Сер. Информатика, управление и компьютерные технологии.– СПб., 2007. – Выпуск 3. – С. 16 – 19.

7. Балхарет А.А. Способ оценки средней напряженности дискретной деятельности оператора. [Текст] / А. А. Балхарет, П. И. Падерно. // Человеческий фактор. Сер. Проблемы психологии и эргономики. – Тверь, 2007. – № 3/2. – С. 29.

8. Балхарет А.А. Автоматизация оценки напряженности деятельности оператора. [Текст] / А. А. Балхарет, П. И. Падерно. // Научно-практический журнал «БИО-ТЕХНОСФЕРА» (Федеральное агентство по печати и массовым коммуникациям). – СПб., 2009. – № 2/2. – С. 53 – 56.

9. Балхарет А.А. Оценка времени выполнения задачи при изменении напряженности деятельности оператора. [Текст] / А. А. Балхарет, П. И. Падерно. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Известия государственного электротехнического университета).– СПб., 2009. – Выпуск 5. – С. 19 – 23.

10. Балхарет А.А. Программный модуль – инструмент для автоматизированной оценки напряженности деятельности оператора. [Текст] / А. А Балхарет, Н. А. Назаренко, П. И. Падерно // Человеческий фактор. Сер. Проблемы психологии и эргономики.– Тверь, 2009. – № 3/2. – С. 19– 20.

Материалы конференций:

11. Балхарет А.А. Модель деятельности пользователя в системе дистанционного образования. [Текст] / А. А. Балхарет, П. И. Падерно. // Материалы XIII международной конференции «современное образование: содержание, технологии, качество». – СПб., 2007. – Том 1. – С. 168 – 170.

12. Балхарет А.А. Оценка напряженности дискретной деятельности персонала в энергетической промышленности. [Текст] / А. А. Балхарет, И. В. Гончар, П. И. Падерно. // Материалы докладов тринадцатой всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность» – Томск, 2007. – С. 277 – 280.

13. Балхарет А.А. Модель изменения напряженности деятельности оператора. [Текст] / А. А. Балхарет. // Научные труды международной молодежной научной конференции «XXXIV Гагаринские чтения» – Москва, 2008. – Том 3. – С. 195 – 196.

14. Балхарет А.А. Использование напряженности как показателя качества деятельности оператора. [Текст] / А. А. Балхарет. // Научные труды международной молодежной научной конференции «XXXIV Гагаринские чтения» – Москва, 2008. – Том 3. – С. 196 – 197.

15. Балхарет А.А. Оценка процесса дистанционного обучения на основе использования показателя напряженности деятельности. [Текст] / А. А. Балхарет, П. И. Падерно. // Материалы XIV международной конференции «Современное образование: содержание, технологии, качество». – СПб., 2008. – Том 1. – С. 248 – 250.

16. Балхарет А.А. Модель изменения напряженности деятельности пользователя в системе дистанционного образования. [Текст] / А. А. Балхарет, П. И. Падерно. // Материалы XIV международной конференции «Современное образование: содержание, технологии, качество». – СПб., 2008. – Том 1. – С. 251 – 252.

17. Балхарет А.А. Модуль оценки напряженности деятельности для тестирования качества информационно-программных средств (ИПС). [Текст] / А. А. Балхарет. // Научные труды международной молодежной научной конференции «XXXV Гагаринские чтения» – Москва, 2009. – Том 3. – С. 118 – 119.

18. Балхарет А.А. Оценки времени выполнения задачи, в зависимости от изменения напряженности деятельности. [Текст] / А. А. Балхарет. // Научные труды международной молодежной научной конференции «XXXV Гагаринские чтения» – Москва, 2009. – Том 3. – С. 119 – 120.

19. Балхарет А.А. Способ оценки времени выполнения задачи при изменении напряженности деятельности оператора. [Текст] / А. А. Балхарет. // Сборник трудов VI всероссийской межвузовской конференции молодых ученых «СПбГУ ИТМО» – СПб., 2009. Выпуск 6. – С. 343 – 346.

20. Балхарет А.А. Модуль оценки напряженности деятельности для тестирования качества электронных средств обучения. [Текст] / А. А. Балхарет. // Сборник трудов VI всероссийской межвузовской конференции молодых ученых «СПбГУ ИТМО» – СПб., 2009. Выпуск 6. – С. 347 – 352.

21. Балхарет А.А. Тестирование качества электронных средств обучения на основе модуля оценки напряженности деятельности обучаемого. [Текст] / А. А. Балхарет, П. И. Падерно. // Материалы XV международной конференции «Современное образование: содержание, технологии, качество». – СПб., 2009. – Том 1. – С. 277 – 279.

22. Балхарет А.А. Модуль оценка напряженности деятельности обучаемого как средство повышения эффективности процесса обучения в системе дистанционного образования. [Текст] / А. А. Балхарет, П. И. Падерно. // Материалы XV международной конференции «современное образование: содержание, технологии, качество». – СПб., 2009. – Том 1. – С. 279 – 280.

23. Балхарет А.А. Встраиваемый модуль автоматизированной оценки напряженности деятельности оператора. [Текст] / А. А. Балхарет, П. И. Падерно. // Доклады Шестой международной аэрокосмической конференции «IAC'09». – Москва, 2009. – С. 200.

24. Балхарет А.А. Технология оценки влияния напряженности на эффективность деятельности оператора. [Текст] / А. А. Балхарет, П. И. Падерно. // Доклады Шестой международной аэрокосмической конференции «IAC'09». – Москва, 2009. – С. 202 – 203.

ЛР № 020617 от 24.06.98

Подписано в печать 29.09.09. Формат 60x84 1/16
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии Издательства СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5