

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

DOI: 10.24143/2072-9502-2019-3-73-89

УДК [004.02+004.5]:681.5

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ОПЕРАТОРОВ В СЛОЖНЫХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ

Ю. М. Брумштейн, Д. А. Молимонов

*Астраханский государственный университет,
Астрахань, Российская Федерация*

Охарактеризованы общие условия работы человека-оператора (ЧО) в составе сложных человеко-машинных систем (СЧМС). Приведены конкретные примеры СЧМС. Показано, что работа ЧО требует хранения в памяти инструкций о необходимых действиях; восприятия и осмысления больших объемов информации; оперативного распознавания опасных ситуаций; принятия и своевременной реализации управленческих и технических решений; оценки последствий их реализации. Указаны особенности управления СЧМС в реальном масштабе времени; предложены оригинальные математические модели принятия и реализации решений ЧО. Рассмотрены варианты использования сенсорных систем ЧО для обеспечения поступления к нему необходимой информации. Обсуждены основные психофизиологические параметры ЧО, влияющие на восприятие и использование им информации: совокупность показателей внимания, оперативной и долговременной памяти, скоростей восприятия различных видов информации, временных затрат на принятие одно- и многокритериальных решений, продолжительностей психомоторных реакций; возможностей параллельного выполнения ЧО нескольких видов работ, связанных с управлением СЧМС. Проанализированы варианты тестирования людей-операторов в отношении указанных параметров. Обоснована целесообразность накопления и ретроспективного анализа результатов тестирований для отдельных людей-операторов; групп таких лиц. Описаны некоторые возможности тренинга параметров ЧО, в том числе с использованием адаптивных режимов. Исследованы информационные модели деятельности ЧО в составе СЧМС; модели динамического управления объемами информации, поступающей к ЧО. Проанализированы практические возможности и ограничения по непрерывному мониторингованию и/или периодическому контролю состояния ЧО в процессе работы. Предложены математические модели для оптимизации объемов такого контроля, учитывающие положительные и отрицательные эффекты. Рассмотрены возможные подходы к апостериорным оценкам качества деятельности ЧО, предложены частные и интегральные критерии таких оценок. Указаны возможные методы управления качеством деятельности ЧО.

Ключевые слова: человеко-машинные системы, человек-оператор, управление, информационное обеспечение, психофизиологические особенности, модели оценки качества деятельности.

Для цитирования: Брумштейн Ю. М., Молимонов Д. А. Математические модели и методы решения задач информационного обеспечения, управления и оценки качества работы операторов в сложных человеко-машинных системах // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 3. С. 73–89. DOI: 10.24143/2072-9502-2019-3-73-89.

Введение

Усложнение технологий производства продукции и оказания услуг, контроля и управления состоянием сложных технических систем (СТС) и ряда иных объектов привело к усилению

внимания к обеспечению качества управления такими системами. При этом решения реализуются в основном по двум направлениям:

– разработка и использование компьютерных систем различных типов: информационных систем (ИС); полностью автоматических систем управления (АСУ); систем автоматизированного управления (САУ), предусматривающих участие человека-оператора (ЧО) в управлении; информационно-управляющих систем (ИУС), информационно-измерительных систем (ИИС) и пр.;

– повышение требований к качеству отбора и улучшению результатов деятельности ЧО, участвующего в управлении СТС и иными системами.

При этом ЧО (по крайней мере, в САУ и ИУС) непосредственно включен в контур управления сложными человеко-машинными системами (СЧМС). В типичных случаях СЧМС обеспечивают выполнение следующих функций: сбор информации – обычно в автоматическом режиме с использованием некоторых датчиков, систем распознавания визуальных образов и пр.; структурирование и накопление информации в базах данных; обработка информации, включая оперативную и ретроспективную; в ряде случаев – построение прогнозов; автоматическое принятие и реализацию некоторых видов решений, в том числе в реальном масштабе времени (РМВ); наглядное отображение информации для ЧО; иногда – выдачу для него предупреждающих сообщений и оповещений (особенно в отношении предаварийных и аварийных ситуаций); получение от ЧО запросов на вывод первичной или обработанной (сводной) информации; получение от ЧО управляющих команд и их выполнение; иногда – выдача подтверждений о выполнении этих команд. В зависимости от складывающейся ситуации ЧО может выполнять различные виды и объемы действий в рамках работы в составе СЧМС. При этом полнота и точность восприятия ЧО информации, своевременность и правильность выполнения им действий зависят от его знаний и профессионального опыта; индивидуальных психологических и психофизиологических характеристик; текущего эмоционального состояния и самочувствия; объемов и качества информации, предоставляемой ему для целей управления, и пр. Взаимосвязи этих вопросов в существующих публикациях исследованы недостаточно полно. Поэтому основными *целями настоящей статьи* были следующие:

1) системный анализ вопросов управления информационным обеспечением деятельности ЧО в составе СЧМС с учетом требований по качеству управления, ограничениям на величины рисков при эксплуатации [1] СЧМС и пр.;

2) разработка моделей принятия и реализации решений ЧО, работающих в составе СЧМС; моделей управления информационными потоками, поступающими к ЧО;

3) систематизация подходов к определению психофизиологических показателей ЧО, важных для решения задач управления СЧМС; оценка рациональности использования этих показателей с учетом специфики решаемых задач;

4) разработка моделей и методов априорной оценки пригодности физических лиц для работы в качестве ЧО; апостериорной оценки качества деятельности ЧО в составе СЧМС;

5) анализ номенклатуры методов управления качеством деятельности ЧО, способов обеспечения мотивации его деятельности.

Общая характеристика условий деятельности человека-оператора в составе сложных человеко-машинных систем

Приведем, для определенности дальнейшего изложения, примеры СЧМС.

1. Сложные химико-технологические установки (например, установки каталитического крекинга).

2. Системы управления многокомпонентным наркозом пациентов при сложных полостных операциях. В них роль ЧО играет врач-анестезиолог, а управляемая система является биотехнической, т. к. включает в себя и пациента.

3. Системы автоматизированного управления складскими терминалами, погрузочно-разгрузочными комплексами.

4. Самолеты – в них применяются АСУ, САУ, ИУС, ИИС. При этом для гражданской авиации неблагоприятными событиями могут быть полные или частичные отказы технических систем самолетов, экстремальные метеорологические факторы, включая грозовые молнии, атмосферные турбулентности. Для военных самолетов и беспилотных летательных аппаратов дополнительно укажем следующие потенциально возможные неблагоприятные воздействия: пуски по ним ракет типов «воздух – воздух» и «земля – воздух»; работу по самолетам зенитной

артиллерии, воздействие лазерных средств ослепления пилотов и пр.; воздействие средств радиоэлектронной борьбы на электронику самолетов и пр.

5. Системы автоматизированного управления движением воздушного транспорта – в них люди-операторы выполняют функции диспетчеров.

6. Системы автоматизированного управления крупными электроэнергетическими системами, включающими генерирующие мощности (в основном гидроэнергетические, атомные и тепловые электростанции) [2], объектами наземной космической инфраструктуры [3].

В типичных случаях имеется ряд особенностей (включая психофизиологические [4]), связанных с включением ЧО в контур управления СЧМС [5], его информационной поддержкой [6] и контролем физиологического состояния в процессе работы:

- большие объемы информационных нагрузок, причем нередко они неравномерны по времени. В ряде случаев наличие пиковых информационных нагрузок, объективно превышающих психофизиологические возможности конкретных ЧО по восприятию и осмыслению информации;

- необходимость для ЧО принимать (и, как правило, реализовывать) решения в РМВ. При этом вопросы своевременности таких действий в ряде случаев являются критическими;

- высокий уровень ответственности ЧО за принимаемые решения в связи с большими размерами ущербов, которые могут быть нанесены неправильными, несвоевременными или даже неоптимальными действиями при управлении СЧМС;

- достаточно большие объемы инструкций и «правил действий», которые ЧО должен знать и уметь оперативно применять при работе. Как следствие, ЧО должен «держать инструкции в памяти» при выполнении работ; динамически оценивать необходимость применения конкретных правил из инструкций для складывающихся ситуаций;

- возможности неблагоприятных внешних воздействий на СЧМС, управляемых ЧО, включая воздействия, специально направленные на выведение СЧМС из строя (например, вредоносные ПО, промышленные вирусы);

- в ряде случаев – некомфортные для людей-операторов условия среды их деятельности: высокий уровень вибраций и шума [7]; неблагоприятный температурно-влажностный режим; ограниченный объем пространства (допустимой зоны перемещений), в котором находится ЧО; для бортовых систем – еще и наличие знакопеременных ускорений, действующих на тело ЧО, его вестибулярный аппарат; большие продолжительности смен; нередко – необходимость работы в ночную смену, что может приводить к нарушениям биологических ритмов организма;

- иногда – наличие прямых угроз для здоровья/жизни ЧО от внешних воздействий и/или из-за технологических рисков работы управляемых СЧМС.

В отношении профессиональной деятельности ЧО выделим два основных направления.

1. Обеспечивающие мероприятия: общепрофессиональная и специальная теоретическая подготовка; изучение инструкций, технологических регламентов, правил техники безопасности, информационной безопасности, опыта деятельности по управлению СЧМС и пр.; работа на тренажерах, в том числе для практической отработки действий в штатных и нештатных ситуациях (характерно, например, для работы летного персонала); при необходимости – получение сертификатов, допусков к выполнению работ на СЧМС; разбор (анализ) выполненных ранее конкретными ЧО действий, в том числе на основе данных видеофиксации работы операторов, телеметрии, а также информации, накопленной в базах данных; прохождение медицинских обследований, подтверждающих возможность работы операторов в составе СЧМС, и пр.

2. Собственно работу ЧО в составе СЧМС разделим на следующие типы действий:

Пассивное получение информации ЧО и ее оценка:

- наблюдение за устройствами отображения информации, специальными сигнальными элементами;

- распознавание отображаемых объектов, включая инфографику, изображения частей оборудования, информационные иконки, пиктограммы, указатели и пр.;

- распознавание положений объектов, которые могут быть показаны (представлены) в разных точках пространства и/или в разных ракурсах, при разных условиях освещения;

- иногда – распознавание цветов и/или цветовых оттенков объектов [8];

- обнаружение (выявление) предаварийных и аварийных состояний в СЧМС на основании представляемой ЧО числовой, текстовой и/или визуальной информации (изображений объектов, данных с ИИС и пр.). При этом ЧО учитывается содержание инструкций, личный профессиональный опыт, «подсказки» со стороны ИУС и/или экспертных систем и пр.;

– получение ЧО информации по звуковому каналу: звуковая сигнализация с целью привлечения внимания; голосовое воспроизведение оповещений, команд, указаний, советов, инструкций, предупреждений и пр.

Инициативное управление ЧО составом и объемом получаемой информации (также с ее последующей оценкой) включает следующее:

- корректировку ЧО состава, периодичности, объемов отображаемой (или воспроизводимой по звуковому каналу) информации;
- выполнение ЧО разовых запросов к САУ, ИС, ИИС, ИУС для получения нужной информации, включая, возможно, некоторые сводки данных за определенный период, прогнозы и пр.;
- переключение ЧО вручную между объектами, изображения которых (или информация о которых) должна отображаться на дисплеях, демонстрационных табло и пр.

Принятие ЧО решений по управлению СЧМС, в том числе и взаимосвязанных решений. В отношении решений отметим следующее:

– при принятии решений в РМВ возможности ЧО часто ограничиваются объемами информации, которые он успевает не только воспринять, но и осмыслить; оценить с точки зрения действующих инструкций;

– количество рассматриваемых ЧО альтернативных видов решений (действий) обычно невелико. Нередко оно полностью определяется действующими инструкциями, регламентами, правилами;

– возможности ЧО по обращению с запросами к специальным системам поддержки принятия решений (СППР) или к экспертным системам при работе в РМВ весьма ограничены.

Подчеркнем, что ЧО должен представлять себе не только оперативные (краткосрочные) результаты реализации принимаемых им решений, но и долгосрочные. Это касается, в частности, следующего: возможности сокращения длительности «жизненного цикла» эксплуатации управляемых СЧМС или их частей; повышения технических рисков их дальнейшей эксплуатации; повышения вероятности появления утечек конфиденциальной информации из СЧМС; иных нарушений информационной безопасности и пр. Поэтому в некоторых случаях принимаемые ЧО решения носят характер компромиссов в отношении достижения краткосрочных целей и учета долгосрочных последствий. Соответствующая модель для одного решения ЧО может быть представлена (для простоты – без учета коэффициентов дисконтирования) в виде

$$\Phi = \mu^{short} \left(\sum_{i_1=1}^{I_1} E_{i_1}^{+,short} - \sum_{i_2=1}^{I_2} E_{i_2}^{-,short} \right) + \mu^{long} \left(\sum_{i_3=1}^{I_3} E_{i_3}^{+,long} - \sum_{i_4=1}^{I_4} E_{i_4}^{-,long} \right), \quad (1)$$

где Φ – оценка итогового эффекта решения с позиций ЧО (оптимален выбор решения с максимальным Φ); μ^{short} , μ^{long} – весовые коэффициенты для оценок эффектов кратковременного и долгосрочного характера (с позиций ЧО часто $\mu^{short} \gg \mu^{long}$); $E_{i_1}^{+,short}$, $E_{i_3}^{+,long}$ – оценки частных положительных эффектов от решения; $E_{i_2}^{-,short}$, $E_{i_4}^{-,long}$ – оценки частных негативных эффектов от решения (по модулю). Значки « Σ » формально предполагают суммирование эффектов, однако при дефиците времени ЧО может учитывать только один-два эффекта. При этом в общем случае и положительные, и отрицательные эффекты (особенно долгосрочные) могут носить вероятностный характер. Поэтому, например, для одного слагаемого в последней сумме из (1), представляющего собой оценку негативного эффекта типа « i_4 », можно принять

$$E_{i_4}^{-,long} = \sum_{k_4=1}^{K_4} (\varphi_{i_4}^{-,long,k_4} \cdot F_{i_4}^{-,long,k_4}), \quad (2)$$

где $\varphi_{i_4}^{-,long,k_4}$ – вероятности (в долях от единицы) для всех вариантов $k_4 = 1 \dots K_4$ проявления этого эффекта с ущербами, имеющими объемы (величины) $F_{i_4}^{-,long,k_4}$. Таким образом, в (2) предполагается использование дискретного ряда значений ущербов и вероятностей для них.

Реализация принятых решений в виде практических действий ЧО или его отказа от выполнения таких действий:

1) выполнение действий по корректировке параметров технологических или иных процессов, их прекращению (приостановке), начальном запуске и пр. с помощью переключателей, кнопок,

регуляторов, иных органов непосредственного управления. При этом могут быть задействованы верхние и нижние конечности ЧО (например, путем нажатия ногами на какие-то педали);

2) выполнение тех же действий путем ввода ЧО команд в ИУС с клавиатуры;

3) выдача ИУС «экранных меню» для ЧО с альтернативными вариантами решений. Из них ЧО обычно должен выбрать только один вариант – щелчком мышью, касанием пальцем и пр. При этом диагностика скоростей «моторных реакций» [9] операторов для п. 1–3 может играть важнейшую роль при оценках качества их деятельности;

4) применение ЧО речевых команд для подчиненных или для ИУС (это позволяет «освободить» его конечности). Передача команд может осуществляться непосредственно голосом (если «получатель» находится поблизости), через локальную компьютерную сеть, по радиоканалам и пр.;

5) использование звукозаписей для комментариев ЧО по ходу развития ситуаций; переговоров ЧО с начальниками и подчиненными;

6) отказ ЧО от выполнения действий, в том числе действий, предложенных САУ.

В практическом отношении важна модель реализации ЧО решений с учетом «фактора времени» и рисков. Приведем ее в общем виде для реализации единственного решения, не взаимодействующего с другими решениями. Примем следующее:

1) Ψ – это текущее время, от которого ведется отсчет предполагаемого момента реализации решения « t ». Таким образом, в данном контексте « t » следует рассматривать как некоторое «локальное время»;

2) зависимость от времени суммы оценок положительных эффектов от реализации решения с позиций ЧО представлена функцией $\varphi^+ = f_1(t)$. При этом к «положительным эффектам» мы относим и предотвращенные ущербы. Аналогичную зависимость для негативных эффектов (по модулю) представим как $\varphi^- = f_2(t)$;

3) для рисков зависимость от времени (также по модулю и также с позиций ЧО) примем в виде функции $\varphi^{(r)} = f_3(t)$. При этом мы учитываем, что реализация неблагоприятных событий, определяемых рисками, носит вероятностный характер. Как следствие, риски целесообразно учитывать в качестве отдельной категории по отношению к негативным эффектам от решений/действий ЧО, которые проявляются обязательно.

Подчеркнем, что в приведенные выше функции фактически включены два вида эффектов (последствий): для СЧМС и организаций, которые ими владеют; лично для ЧО, включая его возможные наказания и поощрения, вред для здоровья и пр. При этом с позиции ЧО стоимостные оценки этих двух видов последствий должны учитываться с разными весовыми коэффициентами.

Вид указанных выше функций для различных ситуаций может существенно различаться, однако эти вопросы выходят за рамки настоящей статьи. Оптимальный момент реализации решения (действия) соответствует максимуму функции

$$\theta = f_1(t) - f_2(t) - f_3(t) \quad (3)$$

с дополнительным ограничением

$$t^{(\min)} \leq t \leq t^{(\max)} \quad (4)$$

Величина $t^{(\min)}$ может определяться, в частности, следующими факторами: предельными скоростями реакций самого ЧО, а также «исполнительных механизмов» СЧМС, которыми он управляет; нормативными документами – например, они могут ограничивать «частоты» (объемы) вмешательств операторов в работу САУ и пр.

Приведенная модель (3), (4) позволяет, в частности, объяснить следующие варианты тактики действий ЧО:

– в опасных ситуациях, грозящих значительными негативными последствиями, более быстрые (но менее обоснованные) действия могут быть для ЧО предпочтительными по сравнению с более поздними, хотя и лучше обоснованными, действиями;

– в случаях, когда объемы информации представляются ЧО недостаточными для принятия решений, он может пытаться оттягивать моменты выполнения действий – вплоть до $t^{(\max)}$;

– в ситуациях, не регламентированных (или недостаточно регламентированных) инструкциями, ЧО может пытаться избежать необходимых действий (в силу возможных неблагоприятных последствий лично для него) или «перекладывать» выполнение этих действий на других физических лиц, на АСУ.

Определение ЧО *фактических последствий* выполненных ранее действий может быть важно для оценки их правильности и, возможно, для оперативной корректировки. Отметим следующее.

В случае каких-либо повреждений СЧМС их реакции на управляющие воздействия со стороны ЧО и САУ могут отличаться от стандартных, в том числе в отношении времен запаздывания реакций. Аналогичные отличия могут быть и при использовании систем с механическими, информационными или иными нагрузками, превышающими расчетные. Поэтому ЧО в таких случаях фактически может перейти на режим «адаптивного управления». При этом он выясняет особенности поведения систем в процессе управления ими на основании анализа их реакций на управляющие воздействия.

Результаты реализации управляющих воздействий могут использоваться ЧО для корректировки личной базы «решающих правил», используемых для последующего управления СЧМС.

Основные виды информации, с которой работает человек-оператор; особенности ее предъявления, восприятия и обработки

В функциональном отношении возможны следующие виды информации, используемой ЧО:

– сведения, предназначенные только для информирования ЧО о текущих состояниях СЧМС или СТС, о динамике изменения их параметров, происходящих в системах, процессах и пр. Эти сведения могут быть представлены ЧО в числовой форме, текстовой, в виде диаграмм, графиков и пр.;

– информация, которая может требовать необязательной реакции ЧО, т. е. он сам принимает решения о необходимости выполнения действий или отказа от таких действий;

– сведения, которые требуют обязательной безотлагательной реакции ЧО. Необходимость таких действий может подчеркиваться использованием визуальной или звуковой сигнализации, в отдельных случаях – вибрационными воздействиями на запястья или иные чувствительные части тела ЧО;

– информация, требующая от ЧО отложенных по времени действий, в том числе действий в определенные моменты времени – это может быть связано, в частности, с особенностями технологических процессов.

Для получения информации ЧО, который управляет СЧМС или СТС, могут использоваться различные сенсорные каналы. При этом целесообразно различать два основных варианта.

Вариант 1. Информация предъявляется ЧО без каких-либо инициативных действий с его стороны. Средства отображения информации: экраны дисплеев, демонстрационные доски, подсветка различных объектов на мнемосхемах и пр. При больших объемах информации, которые должен контролировать ЧО, в настоящее время используются следующие подходы:

– применяется единственный дисплей/демонстрационная доска с возможностью переключения (в том числе и в автоматическом режиме) между экранами, на которых отображаются различные виды информации;

– на единственный дисплей выводится только необходимая числовая, текстовая или графическая информация в отношении различных характеристик СЧМС, которая требуется для информационного обеспечения действий (реакций) ЧО. Это характерно, например, для некоторых систем управления летательными аппаратами и делается для уменьшения «информационной нагрузки» на членов экипажа;

– на дисплей выводится мозаика из изображений, каждое из которых может быть при необходимости увеличено ЧО на том же или ином дисплее (это характерно, в частности, для систем охранного видеонаблюдения).

При больших потоках поступающей информации ЧО может не успевать воспринимать ее в полном объеме, пропускать некоторые элементы информации, в том числе и критически важные (особенно если ИУС не обеспечивают повторный вывод важной информации). В связи с этим актуальны две задачи: оценки предельных скоростей восприятия информации ЧО, в том числе сведений, поступающих по различным сенсорным каналам; управление видами и объемами (соотношениями объемов) представляемой ЧО информации – в том числе при возникновении предаварийных и аварийных ситуаций для управляемых СЧМС.

Вариант 2. Получение ЧО информации осуществляется в результате производимых им действий, в том числе частично регламентированных некоторыми инструкциями. Примерами

таких действий могут быть следующие: получение ЧО информации по запросам в текстово-числовой форме к ИУС, выбор пунктов из экранных меню, нажатие ЧО каких-то кнопок или переключателей, отбор ЧО проб расходных материалов для визуальной оценки их качества, органолептического контроля пищевой продукции и пр.

Характеристики сенсорных систем человека-оператора, обеспечивающие поступление к нему информации, необходимой для принятия и реализации решений

Основным каналом получения информации ЧО является, безусловно, *зрение*. К характеристикам зрения операторов в конкретных случаях могут предъявляться различные уровни требований в отношении следующих параметров:

- острота зрения, т. е. способности ЧО различать мелкие детали объектов при нормальной, пониженной или повышенной освещенности; при белом свете; при цветном освещении; при мигающем (пульсирующем) освещении и т. д.;

- скорость восприятия ЧО предъявляемых объектов – при этом влияние может оказывать также цвет изображений, скорость аккомодации глаз к расположению объектов и пр. Подчеркнем, что при контроле и управлении СТС часть объектов могут отображаться на дисплее (демонстрационной панели и пр.) только на достаточно короткое время, и ЧО не должен их пропустить;

- нижние пороги яркости объектов, воспринимаемых операторами: абсолютные показатели яркости и относительные – по отношению к яркости фона;

- способности ЧО различать цвета и оттенки различных объектов, в том числе при нормальной и пониженной освещенности; при направленном освещении трехмерных объектов, приводящем к появлению глубоких теней, и пр. Отметим также необходимость различать цветовые оттенки для оценки качества моторных и смазочных масел, качества пищевой продукции, исходного сырья для нее и пр.;

- скорость и точность распознавания ЧО различных объектов, в том числе при показе их на мониторах с разных ракурсов;

- возможность (качество) распознавания ЧО объектов на фоне различных визуальных помех. Например, это может касаться объектов, на которые натянуты маскировочные сети; «меток» летательных аппаратов на экранах кругового обзора радиолокационных станций – на фоне объектов, дающих помехи;

- длительность периода, за который у ЧО появляется утомление при восприятии визуальной информации – с учетом интенсивности поступления такой информации, ее важности для принятия решений;

- иногда – в отношении суммарных объемов информации, которые должен воспринимать ЧО за определенный период времени.

В отношении *слухового канала* для оценки ЧО важны следующие характеристики:

- минимальная громкость восприятия звуков, не несущих речевой информации – в виде амплитудно-частотной характеристики для нижнего порога слышимости;

- минимальная громкость восприятия содержательной информации (речи);

- способность понимать речь на фоне звуковых помех. Разборчивость речи может оцениваться с помощью процента правильно воспринятых слов – при различных соотношениях громкости речи и шума;

- возможность различения звуков разной тональности, в том числе при их разной интенсивности. Это может быть важно для оценки «на слух» появления дополнительных звуков в технологических процессах; при работе некоторых видов двигателей; для обнаружения объектов, несущих угрозы для СЧМС (например, подводных лодок) и пр.;

- минимальная длительность восприятия звуков при однократной, двукратной и тройной звуковой сигнализации о наступлении каких-то событий. Пропуск таких сигналов ЧО может быть также связан с появлением у него утомления.

В отношении *восприятия толчков и вибраций*, связанных с работой СТС, способности ЧО могут оцениваться по следующим направлениям:

- минимальное ускорение при однократном толчке (ударе), которое может почувствовать ЧО;

- точность субъективной оценки ЧО силы толчка, возможно – его направления;

- точность восприятия ЧО амплитуды колебаний пола, на котором он стоит, или кресла, в котором он сидит. Эти колебания могут быть связаны, в частности, с сейсмическими воздействиями, вибрациями СТС и пр.;

– для вибраций может быть информативной амплитудно-частотная характеристика, показывающая минимальные амплитуды вибраций, которые воспринимаются человеком на каждой из частот. При этом амплитудно-частотная характеристика для стоящего и сидящего человека могут быть разными, т. к. большинство стульев, кресел и пр. частично гасят поступающие на них колебания.

В отношении *восприятия запахов* к ЧО каких-то особых требований может не предъявляться, особенно если люди работают в помещениях, изолированных от технологического оборудования. Однако при управлении технологическими процессами некоторых пищевых производств качество восприятия запахов может быть существенным – например, при органолептическом контроле выпускаемой продукции, сырья для ее изготовления и пр.

В отношении восприятия *вкуса объектов* требования к ЧО могут предъявляться в основном только в сфере изготовления пищевой продукции, контролируемой органолептическими методами (инструментальные методы контроля для оценки тонких вкусовых различий таких объектов часто могут быть неэффективны).

Основные направления работы с информацией человека-оператора в СЧМС

При работе ЧО в составе СЧМС он должен осуществлять следующие действия с информацией, предполагающие использование *долговременной памяти*:

- помнить (и понимать!) инструкции, связанные с управлением СЧМС;
- держать в памяти дополнительные указания (сведения) оперативного характера, относящиеся к управлению СЧМС: о нецелесообразности использования некоторых режимов эксплуатации систем (например, из-за гидрометеорологических условий), предупреждения о возможности перебоев с подачей электроэнергии и пр.; о выявленных (но пока не устраненных) дефектах в СЧМС, включая обнаруженные недочеты в программном обеспечении САУ;
- удерживать в памяти оперативные инструкции о действиях, которые должны быть реализованы в предопределенные сроки. Такие инструкции могут быть получены, в частности, и в виде рекомендаций от ИУС или САУ в процессе управления.

В отношении долговременной памяти важен ее фактически располагаемый объем для запоминания информации; скорость доступа к нужной информации при четких и нечетких критериях выбора. В последнем случае у ЧО может работать *ассоциативная память*, которая по своей функциональности примерно соответствует нечеткому поиску или поиску по аналогиям в компьютерных ИС. Например, при управлении СЧМС встречаются ситуации, действия в которых не полностью регламентированы существующими инструкциями. В таких случаях ЧО обычно обращается к своему опыту (реальному или полученному при работе на тренажерах) в отношении выбора действий и оценки их предполагаемых результатов – положительных и/или отрицательных. В общем случае ассоциативный поиск в памяти ЧО может носить как однокритериальный, так и многокритериальный характер; учитывать только ситуации, встретившиеся за определенные периоды времени. При этом понятно, что использование ЧО ассоциативного поиска в памяти обычно удлиняет время принятия и реализации решений.

Отметим следующие виды информации, которые могут храниться в *кратковременной памяти (КП)* ЧО:

- оперативная визуальная и слуховая (включая речевую) информация;
- с оговорками – информация о вибрациях (тела, органов управления системой и пр.), о толчках и ускорениях тела ЧО и др.;
- информация об усилиях, которые прилагаются ЧО при ручном управлении объектами, входящими в СЧМС. При управлении летательными аппаратами и некоторыми иными объектами эти усилия могут имитироваться САУ в «уменьшенных» размерах – с помощью «схем обратного нагружения» органов управления.

Для темы статьи важны различные показатели КП, которые будут рассмотрены далее, включая ее объем, длительность и устойчивость удержания информации в памяти. Существенно, что КП (которую можно рассматривать как некоторый аналог оперативной памяти ПЭВМ) используется и для мысленной обработки данных. Поэтому усложнение обработки поступающей информации в общем случае должно снижать возможности по объемам и срокам ее хранения в КП. Как следствие, при больших потоках входной информации ЧО может не успевать «обрабатывать» важные данные и они будут просто пропускаться, приводить к отсутствию необходимых действий со стороны ЧО.

Наличие различного рода помех потенциально будет способствовать «вытеснению» оперативной информации из КП ЧО. При этом возможности ЧО по контролю «переноса» информации из КП в долговременную память могут у людей-операторов значительно отличаться.

Тестирование и тренинг человека-оператора в отношении параметров, важных для обеспечения качества его деятельности в составе СЧМС

Эти работы могут проводиться по двум основным направлениям.

Вне периодов выполнения ЧО производственных функций, в частности до начала смены и после ее окончания может использоваться следующее.

1. Программные средства тестирования психологических и психофизиологических характеристик испытуемых общего назначения. Они могут быть реализованы на ПЭВМ, на компьютерных планшетах, на смартфонах, в том числе и с элементами компьютерных игр.

2. Аппаратно-программные средства тестирования/тренинга общего назначения для указанных характеристик в виде серийно выпускаемых [10] или экспериментальных [11, 12] разработок. Сведения о таких разработках встречаются как в научных статьях [11], так и в патентной информации. В отношении тестирования внимания отметим, в частности, такие показатели, как «концентрированность, объем, селективность, переключаемость, распределяемость и устойчивость», а в отношении параметров памяти – «объем и оперативность» [11].

3. Специализированные программные средства для тестирования (и, возможно, тренинга) навыков работы с определенной СЧМС или группой таких систем. При этом в качестве органов управления могут использоваться специализированные джойстики, рулевые колеса, наборы переключателей и кнопок. Это позволяет приблизить условия тестирования (тренинга) к тому, что реально имеет место при управлении СЧМС. Особенности методических и технических решений по п. 1–3 являются следующие:

а) как правило, они предназначены для разового получения характеристик параметров ЧО – путем проведения единичных тестов или их серий;

б) большинство таких разработок требуют полного переключения внимания на них ЧО. Как следствие, они практически непригодны для систематического использования в процессе производственной деятельности.

4. Специализированные компьютеризированные тренажерные комплексы, в которых максимально полно воспроизводятся условия реальной деятельности людей-операторов; демонстрируются соответствующие изображения на мониторах; воспроизводится «звуковая обстановка» и пр. При этом поведение управляемых систем в результате действий ЧО имитируется с помощью математических моделей – детерминированных или стохастических. На таких тренажерных комплексах помимо рутинных действий ЧО отрабатывается работа в нештатных ситуациях, включая аварийные и предаварийные состояния, воздействие на СЧМС и непосредственно на ЧО неблагоприятных факторов и пр.

В процессе выполнения ЧО производственных функций: непрерывный (или квазинепрерывный) контроль состояния ЧО может быть важен, прежде всего, для лиц опасных профессий. Возможны следующие направления контроля, а также их комбинации.

Бесконтактные методы пассивного контроля:

– визуальное наблюдение за действиями людей-операторов (непосредственное или через видеокамеры) для оценки скоординированности их движений; скорости и адекватности реакций на речевые обращения и пр. (однако такие оценки являются качественными, иногда могут быть субъективными);

– использование систем технического зрения для наблюдения за людьми-операторами, сидящими за пультами управления, с целью автоматизированного анализа их движений; возможно, мимики, движений зрачков глаз;

– использование видеокамер инфракрасного диапазона для автоматизированного анализа термограмм лица ЧО, их изменений во времени.

Контактные методы пассивного контроля:

– стабиллографический анализ поведения ЧО, сидящего в кресле [13], не отвлекает внимания оператора;

– снятие электроэнцефалограммы ЧО и определение биспектрального индекса (B), на основе соотношения амплитуд α и β ритмов головного мозга. Увеличение отношения $B = \alpha / \beta$ может свидетельствовать о повышении сонливости ЧО, увеличении вероятности его засыпания [14],

и, наоборот, уменьшение B говорит об активизации умственной деятельности (например, в ответ на появление новой информации), ее интенсивном осмыслении. На практике такой индекс удобнее контролировать, если ЧО работает в защитном шлеме или в каске;

– изменение показателей частоты пульса и дыхания в сторону увеличения обычно свидетельствует о повышенных физических или психоэмоциональных нагрузках. Для снятия показателей могут использоваться накладные датчики, не мешающие движениям ЧО;

– оценка тонуса мышц (например, нижних конечностей) позволяет распознать моменты психоэмоциональных напряжений ЧО, т. к. эти мышцы напрягаются рефлекторно;

– оценка изменений «влажности» кожи оценивается по величине ее поверхностного электрического сопротивления. Его уменьшение говорит о появлении пота – это также свидетельствует о психоэмоциональных нагрузках, т. к. выделение пота вне зависимости от температурных условий может носить рефлекторный характер;

– изменение показателей артериального давления – предпочтительно использование осциллометрических методов, чтобы меньше отвлекать ЧО;

– оценка появления тремора конечностей, который может быть результатом высоких физических или психоэмоциональных нагрузок на ЧО.

Методы, основанные на анализе скоростей и правильности действий ЧО по ходу работы.

Преимущество – нет отвлечения внимания оператора от работы. Основной недостаток – не обеспечивается возможность контроля в произвольные моменты времени.

Активное тестирование ЧО по ходу выполнения работы. Например, периодически (по ходу смены) выполняемые разовые тестовые задания для ЧО могут выглядеть так. При одновременном загорании красного и синего светодиодов нажать «2» на клавиатуре, для любых других сочетаний цветов светодиодов – нажать «5». Сочетания цветов и виды клавиш в каждом из тестовых заданий выбираются случайным образом. Оцениваться могут скорости реакций, их правильность. При неверном ответе ЧО может сразу же даваться повторное задание с иными параметрами.

Другие варианты:

– пупилографические методы – основаны на произвольных зрачковых реакциях на вспышки света. Однако эти методы требуют специальной аппаратуры, определенного расположения глаз ЧО и пр.;

– оценка скорости реакций ЧО на вибрационные воздействия (например, прилагаемые к запястьям через браслеты, используемые для непрерывного контроля частоты пульса).

Совокупность количественных значений указанных выше частных показателей в принципе допускает формулировку интегральных показателей для оценки состояния ЧО: для определенных моментов времени, за смену в целом или за ее часть и пр.

Модель формальной оценки пригодности специалиста для деятельности в качестве человека-оператора по результатам тестирования

Для оценки степени пригодности кандидата (или уже работающего специалиста) в отношении исполнения им функций ЧО примем следующую модель. Пусть $\{P_i^*\}_{i=1...I}$ представляет собой совокупность желательных значений для выбранных I параметров (показателей), важных для выполнения ЧО производственных функций. При этом мы будем считать, что указанные параметры отражают разные особенности (характеристики) деятельности ЧО.

Кроме того, для J кандидатов на должность оператора известны значения соответствующих параметров в виде матрицы $[P_{i,j}]_{i=1...I, j=1...J}$. Тогда вектор степеней пригодности кандидатов $\{A_j\}_{j=1...J}$ может быть представлен в виде

$$A_j = \left(\sum_{i=1}^I \lambda_i \nu_i |P_i^* - P_{i,j}| \right) / I,$$

где λ_i определяет «знак» для отклонения (для тех параметров, у которых значение параметра «чем выше, тем лучше» (например, оценка объема «оперативной памяти» ЧО) $\lambda_i = +1$; для тех параметров, у которых действует правило «чем меньше, тем лучше» (например, «скорость реакции ЧО на стимулы») $\lambda_i = -1$); ν_i – весовые коэффициенты для параметров. Обычно целесообразно выбрать разные значения этих коэффициентов для отклонений параметров в «+» и «-» по отношению к желаемым значениям. Поэтому

$$\left\langle v_i = \begin{cases} v_i^+, & \text{если } P_i^* > P_{i,j} \\ v_i^-, & \text{если } P_i^* \leq P_{i,j} \end{cases} \right\rangle_{i=1 \dots I}.$$

Значения v_i^+ , v_i^- могут быть определены в основном экспертно, т. к. оценить их по результатам статистического анализа деятельности совокупности людей-операторов сложно.

Полученные значения $\{A_j\}_{j=1 \dots J}$ могут быть проранжированы в порядке убывания. Предпочтительны кандидаты на должность ЧО с наибольшими значениями A .

Модели управления объемами информации, представляемой человеку-оператору

Модель 1 (в основном для пиковых информационных нагрузок). Пусть ЧО необходимо представлять информацию N видов (или в отношении N характеристик СЧМС). Примем следующее.

1. Суммарный объем информации, который может воспринять ЧО за единицу времени в конкретный период смены, равен S_1 . В общем случае $S_j = S_j(t)$, т. е. зависит от времени. Причины: ЧО может утомляться, также у ЧО может быть период «вработываемости» в начале смены.

2. Минимально необходимые для целей принятия/реализации решений ЧО объемы информации каждого вида равны $\{g_n\}_{n=1 \dots N}$.

3. Коэффициенты «полезности» для каждого вида информации ($\{K_n\}_{n=1 \dots N}$) примем, для определенности, равными величинам уменьшаемых рисков (в рублях) на единицу поступления информации сверх минимально необходимых объемов $\{g_n\}_{n=1 \dots N}$.

4. Максимальные объемы информации, после превышения которых уже не будет происходить снижения рисков, – это $\{G_n\}_{n=1 \dots N}$.

5. Стоимости получения, передачи, обработки, отображения единиц информации по отдельным видам составляют $\{\tilde{N}_n\}_{n=1 \dots N}$. Тогда оптимальным в отношении объемов информации каждого вида $\{Y_n\}_{n=1 \dots N}$ будет решение, доставляющее максимум функции

$$\Omega_1 = \left(\sum_{n=1}^N (K_n (Y_n - g_n)) \right) - \left(\sum_{n=1}^N C_n Y_n \right), \tag{5}$$

где в правой части уменьшаемое соответствует сумме предотвращенных ущербов, а вычитаемое – расходам на получение, обработку, представление (демонстрацию) информации. Ограничения:

$$\left(\sum_{n=1}^N Y_n \right) \leq S_1; \{g_n \leq Y_n \leq G_n\}_{n=1 \dots N}; \left(\sum_{n=1}^N C_n Y_n \right) \leq Z_1^{(\max)}. \tag{6}$$

При этом ограничение по максимальным объемам затрат за единицу времени ($Z_1^{(\max)}$) может приводить к тому, что $\sum_{n=1}^N Y_n$ не будет достигать величины S_1 .

Модель 2 относится к периоду времени, в том числе к смене. Примем следующее.

1. $\{Y_n = Y_n(t)\}_{n=1 \dots N}$.

2. Используется M моментов отсчета, относящихся к промежуткам времени длительностью Δt каждый.

3. Для «периода времени» имеются ограничения на суммарные объемы информации каждого вида ($\{Y_n^{(sum)}\}_{n=1 \dots N}$) и по совокупности всех видов информации (Y_n^*):

$$\left\{ \left(\sum_{m=1}^M Y_n^{(m)} \right) \leq Y_n^{(sum)} \right\}_{n=1 \dots N}; \left(\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M Y_n^{(m)} \right) \leq Y_n^*. \tag{7}$$

Управляемыми параметрами будут, очевидно, $\{Y_n^{(k)}\}_{n=1 \dots N, k=1 \dots K}$, а критерием оптимальности – максимум функции

$$\Omega^* = \sum_{k=1}^K \Omega_1^{(k)}, \tag{8}$$

где $\Omega_1^{(k)}$ вычисляется по формулам типа (5) для « m -го» отсчета при соблюдении ограничений типа (6) для конкретных моментов времени и типа (7) – для «периода времени» в целом.

Могут также быть рассмотрены и иные модели, в том числе учитывающие влияние объемов поступающей информации за единицу времени на скорость ее восприятия и, как следствие, на своевременность выполнения ЧО необходимых действий (включая преждевременность действий, действий с запаздыванием, неточных действий и пр.).

Модели апостериорной оценки качества деятельности человека-оператора

Основными причинами ошибочных, несвоевременных или нерациональных действий ЧО, а также действий, выполненных не в полном объеме, могут быть следующие:

- частичная утрата ЧО профессиональных навыков, в том числе в отношении действий в нештатных ситуациях;
- недостаточные (не совсем подходящие) для выполнения производственных функций психофизиологические параметры ЧО;
- недостаточная мотивация ЧО в отношении обеспечения качества его деятельности;
- плохо написанные (в том числе неоднозначные для понимания) должностные инструкции, регламенты для ЧО;
- значительная физическая или психоэмоциональная усталость ЧО, в том числе приводящая к возникновению сонливости, – по своей сути это так называемое «охранительное торможение» центральной нервной системы;
- сложная оперативная обстановка, в том числе угрозы неблагоприятных внешних воздействий на управляемую СЧМС и/или ЧО, сами воздействия на них, сбои в работе САУ, систем отображения информации и пр.

Подчеркнем, что рассматриваемые далее подходы учитывают совместное влияние ряда факторов: профессионального опыта ЧО и его тренированности, мотивации, психофизиологических характеристик ЧО, его самочувствия и пр.

Первый подход. Используются частные критерии оценки качества деятельности (КД) ЧО за смену или за определенный период этой смены, затем на их основе формулируется интегральный показатель. Рассмотрим сначала частные показатели:

- 1) доля правильных действий (ДПД), которые были ЧО своевременно выполнены в полном объеме – D_1 ;
- 2) доля действий, которые были выполнены ЧО вовремя, причем по своему содержанию они были приемлемы, но не оптимальны – D_2 . Сюда же мы отнесем правильные действия, которые были выполнены не в полном объеме;
- 3) ДПД, которые были реализованы в полном объеме, но с опозданием (с задержкой) по времени по отношению к тому, что предусмотрено в технологических регламентах, инструкциях – D_3 ;
- 4) ДПД, которые были реализованы в полном объеме, но преждевременно по отношению к технологическим регламентам, инструкциям – D_4 ;
- 5) доля полностью ошибочных по своему содержанию действий ЧО вне зависимости от момента их выполнения по отношению к тому, что предусмотрено технологическими регламентами – D_5 ;
- 6) доля частично ошибочных действий ЧО (D_6) без разделения их по моментам выполнения и степени правильности действий. Дать количественные оценки степени ошибочности таких действий сложно. Поэтому отдельные показатели, основанные на таких оценках, использовать нерационально;
- 7) доля «пропущенных» действий, т. е. не выполненных ЧО в тех случаях, когда они должны были быть выполнены. Предполагается, что если действие может быть отнесено к двум категориям, то выбирается категория с меньшим номером. Примем

$$D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6 + D_7 = 1.$$

Отнесение действий к одной из категорий 1–7 при работе на тренажерах может осуществляться так: автоматизированная диагностика действий специальной программно-аналитической системой, основанной на использовании «эталонного» набора решающих правил; заранее выполненные экспертные оценки. Для действий в рамках производственных смен целесообразны

преимущественно ретроспективные экспертные оценки. Для действий по п. 3 и 4 можно ввести дополнительные характеристики:

8) среднее время задержки по всем действиям ЧО, выполненным с опозданием, $T_{\text{нб}}^{--}$;

9) среднее время упреждения по всем действиям, выполненным ЧО преждевременно, $T_{\text{нб}}^{+}$.

Интегральную оценку КД ЧО (Q^*) на основе долей из формулы (7) представим в виде

$$Q^* = \left(\sum_{i=1}^I W_i D_i \right) / I, \quad (9)$$

где $I = 7$, а $\{W_i\}$ – набор весовых коэффициентов (ВК) для долей действий. Целесообразно принять $W_1 = 1$, а остальные ВК взять отрицательными. Предполагается, что эти ВК могут быть оценены экспертно с учетом потерь продукции (или снижения стоимости продукции) для действий, соответствующих долям D_2 – D_7 . Соотношение модулей ВК будет определять «относительную опасность» действий для категорий, соответствующих п. 2–7 в случае конкретной СЧМС. Для определенного ЧО при наличии значительных долей действий, соответствующих категориям 2–7, может оказаться $Q^* < 0$. Таким образом, по критерию (9) можно сравнивать деятельность нескольких людей-операторов в отношении определенной СЧМС. При этом чем ближе Q^* к единице, тем оценка КД для ЧО лучше.

В наглядной форме «профили» действий различных людей-операторов по показателям D_1 – D_7 можно сравнивать с помощью лепестковых диаграмм, на осях которых откладываются значения D_i .

Дополнительные параметры $T_{\text{нб}}^{--}$ и $T_{\text{нб}}^{+}$ (п. 7 и 8) могут быть сравнены друг с другом для оценки наличия значительных различий – например, в действиях одного ЧО по одному виду действий или за смену. Если таких действий было много, то с целью определения статистической значимости различий $T_{\text{нб}}^{--}$ и $T_{\text{нб}}^{+}$ могут быть применены методы сравнения выборок с «парно не связанными вариантами».

Второй подход. Предполагается, что из-за ошибочных действий ЧО возможно следующее: выпуск полностью бракованной продукции (потеря в стоимости равна C_1) или продукции с пониженным качеством, что приводит к частичной потере стоимости в размере C_2 ; отсутствие выпуска продукции (суммарной стоимостью C_3) – в том числе из-за поломок оборудования, связанных с действиями ЧО. Тогда альтернативой для (9) будет

$$Q^{**} = 1 - (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3) / \tilde{N}_{\text{ном}},$$

где $\tilde{N}_{\text{ном}}$ – номинальная стоимость продукции, которая может быть выпущена при отсутствии ошибок ЧО. Предполагается, что $(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3) < \tilde{N}_{\text{ном}}$. Максимальное значение $Q^{**} = 1$.

Возможные практические методы управления качеством деятельности человека-оператора

Мы укажем лишь основные направления:

– профессиональный отбор кандидатов при приеме на работу с учетом общего состояния здоровья и психофизиологических характеристик (показателей), важных для выполнения производственных функций;

– периодический контроль состояния здоровья ЧО не менее одного раза в год;

– предсменный контроль физиологического состояния людей-операторов, особенно управляющих опасными производственными процессами (объектами);

– мониторинг (в том числе и путем простого наблюдения) физиологического и эмоционально-психологического состояния ЧО в процессе выполнения производственных функций, а также использования инструментальных средств контроля состояния ЧО (см. выше). При острой необходимости – оперативная замена его на другого ЧО;

– тренинг выполнения ЧО профессиональных функций, в том числе для восстановления навыков после длительных перерывов в работе (включая отпуск, заболевания и пр.);

– периодическая аттестация ЧО в отношении возможностей их дальнейшей работы;

– улучшение состояния здоровья ЧО, повышение его работоспособности за счет проведения лечебных и профилактических мероприятий;

- повышение эмоционально-психологической устойчивости ЧО к неблагоприятным воздействиям, в том числе за счет работы с психологами;
- адекватное инструктивно-методическое и информационное обеспечение деятельности ЧО вне смен и в процессе работы (в виде инструкций, регламентов);
- использование в САУ СЧМС программных блоков, осуществляющих анализ в РМВ корректности операций, которые выполняет ЧО и, при необходимости, блокирование (или исправление) его явно ошибочных действий; с оговорками – выдача ЧО запросов на подтверждение некоторых «сомнительных» операций. При большом количестве явно ошибочных действий ЧО – выдача рекомендаций о его оперативной замене;
- ретроспективный анализ своевременности и правильности действий ЧО на основе видео, аудиозаписей, телеметрической и иной информации, в том числе с использованием экспертного оценивания. По результатам такого анализа могут приниматься решения о внеочередной аттестации ЧО, об отстранении его от работы, о проведении дополнительного тренинга и пр.;
- использование рациональных эргономических решений для помещений, в которых проходит деятельность ЧО, а также для представления информации на дисплеях ИУС и иных видов систем;
- материальное поощрение ЧО за хорошие результаты работы или лишение его премий при большом количестве допускаемых ошибок, нерациональных решений/действий;
- оптимизация подбора людей-операторов в бригадах (рабочих группах) с учетом их психологической совместимости, особенностей психофизиологических параметров и пр.

Как правило, наибольший эффект дает комбинированное применение указанных методов (или их части). В связи с этим для организаций представляет интерес задача оптимизации расходования средств (ресурсов) по указанным направлениям с учетом следующих факторов: необходимых и фактических количеств людей-операторов, их характеристик, предполагаемых в будущем длительностей работы этих людей в должностях операторов, различных нормативных ограничений по деятельности операторов и пр. Однако эти модели плохо формализуются. Поэтому на практике оптимизация осуществляется в основном с учетом существующего опыта руководителей организаций и подразделений.

Заключение

Проведенный анализ условий деятельности людей-операторов в составе СЧМС позволил выявить особенности принятия и реализации ими решений, совокупность факторов, которые могут обуславливать ухудшение качества их деятельности. Обоснована целесообразность использования моделей принятия решений ЧО с учетом дифференцированного учета их важности кратковременных и долговременных последствий решений; «факторов времени» и рисков при реализации решений. Рассмотрены ключевые вопросы информационного обеспечения деятельности ЧО в составе СЧМС в режиме РМВ, включая состав и характеристики информации, с которой работает ЧО, особенности ее восприятия, осмысления использования при принятии и реализации решений. Обоснован состав психофизиологических показателей, важных для априорной профессиональной оценки кандидатов на должность ЧО. Исследованы потенциальные возможности и ограничения по тестированию кандидатов на должность ЧО и уже работающих специалистов в отношении оценки этих показателей; возможные подходы к организации мониторинга состояния ЧО в процессе выполнения им производственных функций. Предложены следующие математические модели: формальной оценки пригодности специалиста для деятельности в качестве ЧО СЧМС на основе совокупности психофизиологических показателей (полученных по результатам тестирования); управления объемами информации, представляемой ЧО (в период пиковых нагрузок и за смену в целом); апостериорной оценки качества деятельности ЧО (по результатам анализа его действий при работе на тренажерах или в реальных условиях). Проанализированы различные практические возможности (методы) управления качеством деятельности ЧО, в том числе с применением тренинга. Сделан вывод о целесообразности комбинированного использования этих возможностей.

Рассмотренный в статье материал может быть использован в качестве методологической основы при построении информационно-аналитических систем для комплексной оценки и управления деятельностью людей-операторов в СЧМС; для определения необходимости проведения их профессионального тренинга; для оптимизации подбора кандидатов на должности операторов СЧМС; для разработки, создания и оперативного управления использованием средств информационного обеспечения деятельности людей-операторов в СЧМС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Учаев Д. Ю., Брумштейн Ю. М., Ажмухамедов И. М., Князева О. М., Дюдиков И. А. Анализ и управление рисками, связанными с информационным обеспечением человеко-машинных АСУ технологическими процессами в реальном времени // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2016. № 2 (34). С. 82–97.
2. Брагинский М. Я., Тараканов Д. В. Построение многофункционального тренажера по управлению теплоэнергетической системой // Вестн. кибернетики. 2018. № 2 (30). С. 161–168.
3. Кулганов В. А., Моторин В. М., Фомичёв А. Д. Психофизиологические аспекты совершенствования управления техническими системами объектов наземной космической инфраструктуры // Тр. Воен.-косм. акад. им. А. Ф. Можайского. 2018. № 663. С. 165–169.
4. Захаров Е. С., Скоморохов А. А., Городецкий И. Г. Экспериментальные исследования и анализ психофизиологического состояния и деятельности человека-оператора // Изв. ТРТУ. 2004. № 6 (41). С. 39–41.
5. Мирошниченко О. Д., Бреслер И. Б. Некоторые вопросы включения человека-оператора в контур управления в автоматизированных системах управления специального назначения // Актуальные вопросы развития вооружения, военной и специальной техники войск противовоздушной и противоракетной обороны, космических войск воздушно-космических сил: сб. науч.-метод. тр. I Всерос. науч.-практ. конф. (Москва, 22 апреля 2016 г.). М.: Изд-во Воен.-воздуш. инженер. акад. им. Н. Е. Жуковского, 2016. С. 433–437.
6. Башлыков А. А. Человек в системе оперативно-диспетчерского управления и проблемы автоматизации процессов для интеллектуальной поддержки принятия решений // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2014. № 1. С. 11–19.
7. Пупков К. А., Устюжанин А. Д., Шашиурин В. Д. Оценка влияния вибрации на эффективность работы человека-оператора в человеко-машинных системах // Вестн. Моск. гос. техн. ун-та им. Н. Э. Баумана. Сер.: Приборостроение. 2006. № 2 (63). С. 30–36.
8. Жаринов И. О., Жаринов О. О., Шукалов А. В., Парамонов П. П. Оценка меры различия цветов и оттенков в цветовых пространствах, применяемых в авионике // Молодежь и современные информационные технологии: сб. тр. XII Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 12–14 ноября 2014 г.). Томск: Изд-во Национ. исслед. Том. политехн. ун-та, 2014. С. 251–252.
9. Шмидт С. А., Кочегура Т. Н., Аристова Т. А., Шатова Е. Л. Метод диагностики параметров психомоторного статуса человека-оператора // Современные наукоемкие технологии. 2006. № 1. С. 59.
10. Городецкий И. Г., Захаров Е. С., Скоморохов А. А. Адаптивная модель совмещенной деятельности человека-оператора в составе программно-аппаратного комплекса «Реакор» // Изв. ТРТУ. 2004. № 6 (41). С. 36–38.
11. Корневский Н. А., Филатова О. И., Носов А. В., Коростелев А. Н. Методы и средства для исследования параметров внимания и памяти человека // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2010. Т. 9. № 1. С. 134–137.
12. Плотников С. В. Автоматизированная тестирующая психофизиологическая система хронореакциометрического направления для обследования человека-оператора // Проектирование и технология электронных средств. 2008. № 3. С. 67–69.
13. Марченко А. А. Стабилографический показатель напряженности человека-оператора в процессе деятельности // Изв. ТРТУ. 2004. № 6 (41). С. 22–24.
14. Дементьенко В. В., Дорохов В. Б. Оценка эффективности систем контроля уровня бодрствования человека-оператора с учетом вероятностной природы возникновения ошибок при засыпании // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. 2013. Т. 63. № 1. С. 24.

Статья поступила в редакцию 13.06.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Брумштейн Юрий Моисеевич – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры информационных технологий; brum2003@mail.ru.

Молимонов Дмитрий Александрович – Россия, 414056; Астрахань, Астраханский государственный университет; студент направления подготовки «Биотехнические системы и технологии»; dmolimonov@bk.ru.



MATHEMATICAL MODELS AND METHODS FOR SOLVING PROBLEMS OF INFORMATION SUPPORT, QUALITY MANAGEMENT AND ASSESSMENT OF OPERATORS' ACTIVITY IN COMPLEX HUMAN-MACHINE SYSTEMS

Yu. M. Brumshteyn, D. A. Molimonov

Astrakhan State University,
Astrakhan, Russian Federation

Abstract. The article characterizes the general working conditions of the man-operator (MO) in the complex human-machine systems (CHMS). Specific examples of CHMS are given. It is shown that work of MO demands the following terms: storing instructions for necessary actions in memory; perception and judgment of large volumes of information; operational recognition of dangerous situations; acceptance and timely implementation of management and technical decisions; estimates of their implementation effects. Features of CHMS real-time management are specified; original mathematical models for the MO solutions acceptance and implementation are offered. Variants of MO sensor systems for ensuring operator with necessary information are considered. The key psychophysiological parameters influencing the information perception and usage by MO are discussed: attention indicators, volumes of short-term and long-term memory, speeds of perceiving different types of information, time expenditure on acceptance of one- and multicriteria solutions, durations of "motor reactions"; opportunities of side-by-side execution by MO of several works types, concerned with CHCM management. Variants of operator testing by specified parameters are analyzed. The expediency of accumulation and retrospective analysis of testing results for individual MOs or MO groups has been justified. The opportunities for MO training including use of the adaptive modes are described. The information models of MO activity in terms of CHMS and models of dynamic management of information volumes demonstrated to MO. Practical opportunities and restrictions on continuous monitoring and/or periodic control of MO in the course of work are analyzed. There are offered the mathematical models for optimizing volumes of control, considering positive and negative effects. Possible approaches to a posteriori estimates of the quality of MO activity are analyzed; particular and integral criteria for such estimates are considered. Possible methods for MO activity quality management are specified.

Key words: man-machine systems, human operator, management, information support, psycho-physiological features, performance quality assessment models.

For citation: Brumshteyn Yu. M., Molimonov D. A. Mathematical models and methods for solving problems of information support, quality management and assessment of operators' activity in complex human-machine systems. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2019;3:73-89. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2019-3-73-89.

REFERENCES

1. Uchaev D. Yu., Brumshteyn Yu. M., Azhmuhadedov I. M., Knyazeva O. M., Dyudikov I. A. Analiz i upravlenie riskami, svyazannymi s informacionnym obespecheniem cheloveko-mashinnyh ASU tekhnologicheskimi processami v real'nom vremeni [Analysis and management of risks associated with information support of human-machine automated process control systems in real time]. *Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii*, 2016, no. 2 (34), pp. 82-97.
2. Braginskij M. Ya., Tarakanov D. V. Postroenie mnogofunkcional'nogo trenazhera po upravleniyu teploenergeticheskoy sistemoy [Construction of multifunctional simulator for management of heat and power system]. *Vestnik kibernetiki*, 2018, no. 2 (30), pp. 161-168.
3. Kulganov V. A., Motorin V. M., Fomichyov A. D. Psihofiziologicheskie aspekty sovershenstvovaniya upravleniya tekhnicheskimi sistemami ob'ektov nazemnoj kosmicheskoy infrastruktury [Psychophysiological aspects of improving management of technical systems of ground-based space infrastructure objects]. *Trudy VoЕННО-kosmicheskoy akademii im. A. F. Mozhajskogo*, 2018, no. 663, pp. 165-169.
4. Zaharov E. S., Skomorohov A. A., Gorodeckij I. G. Eksperimental'nye issledovaniya i analiz psihofiziologicheskogo sostoyaniya i deyatelnosti cheloveka-operatora [Experimental studies and analysis of psychophysiological state and human operator activity]. *Izvestiya TRTU*, 2004, no. 6 (41), pp. 39-41.

5. Miroshnichenko O. D., Bresler I. B. Nekotorye voprosy vklyucheniya cheloveka-operatora v kontur upravleniya v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniya special'nogo naznacheniya [Aspects of involving a human operator in control loop in automated control systems for special purposes]. *Aktual'nye voprosy razvitiya vooruzheniya, voennoj i special'noj tekhniki vojsk protivovozdushnoj i protivoraketnoj oborony, kosmicheskikh vojsk vozdushno-kosmicheskikh sil: sbornik nauchno-metodicheskikh trudov I Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Moskva, 22 aprelya 2016 g.)*. Moscow, Izd-vo Voenno-vozdushnoj inzhenernoj akademii im. N. E. Zhukovskogo, 2016. Pp. 433-437.
6. Bashlykov A. A. Chelovek v sisteme operativno-dispatcherskogo upravleniya i problemy avtomatizacii processov dlya intellektual'noj podderzhki prinyatiya reshenij [Man in system of operational dispatch control and problems of process automation for intelligent decision support]. *Avtomatizaciya, telemekhanizaciya i svyaz' v neftyanoy promyshlennosti*, 2014, no. 1, pp. 11-19.
7. Pupkov K. A., Ustyuzhanin A. D., Shashurin V. D. Ocenka vliyaniya vibracii na effektivnost' raboty cheloveka-operatora v cheloveko-mashinnykh sistemakh [Evaluation of influence of vibration on efficiency of human operator in human-machine systems]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N. E. Baumana. Seriya: Priborostroenie*, 2006, no. 2 (63), pp. 30-36.
8. Zharinov I. O., Zharinov O. O., Shukalov A. V., Paramonov P. P. Ocenka mery razlichiya cvetov i ottenkov v cvetovykh prostranstvakh, primenyaemykh v avionike [Evaluation of measure of difference in colors and shades in color spaces used in avionics]. *Molodezh' i sovremennye informacionnye tekhnologii: sbornik trudov XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (Tomsk, 12–14 noyabrya 2014 g.)*. Tomsk, Izd-vo Nacional'nogo issledovatel'skogo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2014. Pp. 251-252.
9. Shmidt S. A., Kochegura T. N., Aristova T. A., Shatova E. L. Metod diagnostiki parametrov psihomotor-nogo statusa cheloveka-operatora [Method of diagnostics of psychomotor status of a human operator]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2006, no. 1, p. 59.
10. Gorodeckij I. G., Zaharov E. S., Skomorohov A. A. Adaptivnaya model' sovmeshchennoj deyatel'nosti cheloveka-operatora v sostave programmno-apparatnogo kompleksa «Reakor» [Adaptive model of combined human-operator activity as part of hardware-software complex “Reacor”]. *Izvestiya TRTU*, 2004, no. 6 (41), pp. 36-38.
11. Korenevskij N. A., Filatova O. I., Nosov A. V., Korostelev A. N. Metody i sredstva dlya issledovaniya parametrov vnimaniya i pamyati cheloveka [Methods and tools for studying parameters of human attention and memory]. *Cistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemakh*, 2010, vol. 9, no. 1, pp. 134-137.
12. Plotnikov S. V. Avtomatizirovannaya testiruyushchaya psihofiziologicheskaya sistema hronoreakciometricheskogo napravleniya dlya obsledovaniya cheloveka-operatora [Automated testing psychophysiological system of chronorectional direction for examination of a human operator]. *Proektirovanie i tekhnologiya elektronnykh sredstv*, 2008, no. 3, pp. 67-69.
13. Marchenko A. A. Stabilograficheskij pokazatel' napryazhennosti cheloveka-operatora v processe deyatel'nosti [Stabilographic indicator of intensity of human operator in the process of activity]. *Izvestiya TRTU*, 2004, no. 6 (41), pp. 22-24.
14. Dementienko V. V., Dorohov V. B. Ocenka effektivnosti sistem kontrolya urovnya boдрstvovaniya cheloveka-operatora s uchedom veroyatnostnoj prirody vozniknoveniya oshibok pri zasypanii [Evaluation of effectiveness of monitoring wakefulness of a human operator subject to probabilistic nature of errors in man's sleep]. *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti im. I. P. Pavlova*, 2013, vol. 63, no. 1, p. 24.

The article submitted to the editors 13.06.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Brumshteyn Yury Moiseevich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Information Technologies; brum2003@mail.ru.

Molimonov Dmitry Aleksandrovich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State University; Student, Training Area “Biotechnical Systems and Technologies”; dmolimonov@bk.ru.

