

ИМИТАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ “ЧЕЛОВЕК–МАШИНА” КАК МЕТОД ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СЛУЖБ

СТРЕЛЕЦ В.М.

Показывается, что эргономическая оценка (ЭО) представляет собой имитационную систему (ИС), объединяющую экспертов, технические имитаторы (включая ЭВМ) и специальное математическое обеспечение. Анализ системы моделей структуры ЭО как ИС позволяет сформулировать метод имитационного анализа систем “человек-машина” (СЧМ) как метод ЭО СЧМ, основанный на использовании имитационного моделирования.

1. Эргономическая оценка как имитационная система

Существующие организационно-технические мероприятия, обеспечивающие функционирование подразделений аварийных служб, разрабатывались достаточно давно (например, в пожарной охране они были обоснованы около двадцати пяти лет назад), исходя из возможностей созданной в то время специальной техники и общепринятых тогда же приемов работы с ней. В последнее время разрабатывается и закупается техника, при создании которой учитывают не только достижения улучшенных технических характеристик, но и то, что изменились условия работы и подготовки персонала, приемы ликвидации аварийной ситуации.

Поскольку управлять параметрами аварийной ситуации практически невозможно, существенно повысить эффективность работы персонала аварийных служб можно в результате учета эргономических факторов деятельности (характеристик СЧМ, способов и алгоритмов выполнения стоящих задач, средств и методов подготовки, требований по безопасности персонала и т.д.). Однако до настоящего времени в аварийных службах они рассматривались не комплексно, а с позиций психологии, физиологии, автоматизации управления и других отдельных наук. При этом в эргономических исследованиях преобладает изучение деятельности операторов, преимущественно связанное с приемом и переработкой информации, тогда как персонал аварийных служб в основном занимается механизированным ручным трудом [1].

Для разработки и принятия обоснованных решений, которые имеют цель не только снизить опасность аварийной ситуации, но и ослабить действие опасных факторов на пострадавших и персонал аварийных служб, необходима объективная оценка результатов функционирования системы “персонал – аварийная ситуация – средства ее ликвидации и обеспечения деятельности персонала”, которая представляет собой ЭО СЧМ [2]. При этом статистический подход к ЭО неприемлем даже для анализа работы со специальным оборудованием

аварийных служб, поскольку для получения достоверных выводов требуются статистические данные о его использовании за промежуток времени, в 3–4 раза превышающий гарантийный ресурс такой техники. Тем более его нельзя использовать для ЭО создаваемой техники, в задания на разработку которой только закладывается возможность реализации новых тактических приемов. Несмотря на наличие разнообразных экспертных методов, в практической деятельности, как правило, используется их применение в неявной форме. В результате этого они страдают большим субъективизмом. Применить же непосредственно математические методы невозможно из-за трудностей, связанных, прежде всего, с тем, что нельзя полностью формализовать описание системы “персонал – аварийная ситуация – средства ее ликвидации и обеспечения деятельности персонала” (из-за свободы действий персонала в рамках функционирования системы, непостоянства ее структуры, многокритериальности функционирования, нечеткого задания самих критериев и т.д.).

Опыт использования моделирования для решения организационно-управленческих задач в авиации и космонавтике, других научных областях показывает, что априорную эргономическую оценку результатов деятельности персонала аварийных служб целесообразно выполнять, опираясь на имитационную оценку. В наиболее развитой форме имитационное моделирование осуществляется в имитационной системе, под которой понимается совокупность системы специальных моделей, позволяющая воспроизводить процесс функционирования аварийной службы, если заданы управления; программ, реализующих моделируемый процесс; систем связи эксперта (экспертов) с техническими средствами моделирования [3].

Имитационные модели могут быть математические, физические или комбинированные. Моделируемый процесс, соответственно, реализуется с помощью ЭВМ, технических средств физического моделирования (ТСФМ), управление которыми (частью которых) в случае использования комбинированных моделей опирается на результаты имитационного математического моделирования. Системы связи человека с машиной позволяют вводить исходные данные для воспроизведения средствами моделирования рассматриваемого процесса, а также получать информацию о его течении, вмешиваться в него. Иными словами, ИС – это человеко-машина система, объединяющая экспертов, средства моделирования (как ЭВТ, так и ТСФМ) и специальное математическое и программное обеспечение. Таким образом, эргономическую оценку функционирования аварийных служб можно представить в виде ИС.

Поскольку ИС является сложной системой, то с точки зрения системного подхода ее структура должна рассматриваться в различных аспектах. В соответствии с [4] структуру ЭО можно представить состоящей из трех видов средств имитации: логических, семиотических и физических. Логические средства имитации включают экспертные процедуры, модели объектов ЭО, задачи этой оценки, ее результаты и информацию об объектах.

Семиотические средства представляют собой знаковые системы формулирования процедур ЭО, общения экспертов с используемыми техническими средствами ЭО, формулирования задач исследования и др. Физические средства имитации включают собственно экспертов, ЭВМ и технические устройства для ведения диалога между экспертом и ЭВМ, ТСФМ и непосредственно испытуемыми.

2. Модель логической структуры ЭО

Поскольку ЭО является исследовательским процессом, ее логическая структура может быть представлена с помощью обобщенной модели, включающей операции постановки задачи, поиска процедур решения и подготовки информации об объекте задачи, получения результата, сравнения результата с критерием, оценки этого сравнения и фиксации окончательного результата. Анализ особенностей ЭО функционирования аварийных служб позволяет представить модель логической структуры ЭО (рис. 1), состоящей из операций и отношений между ними.

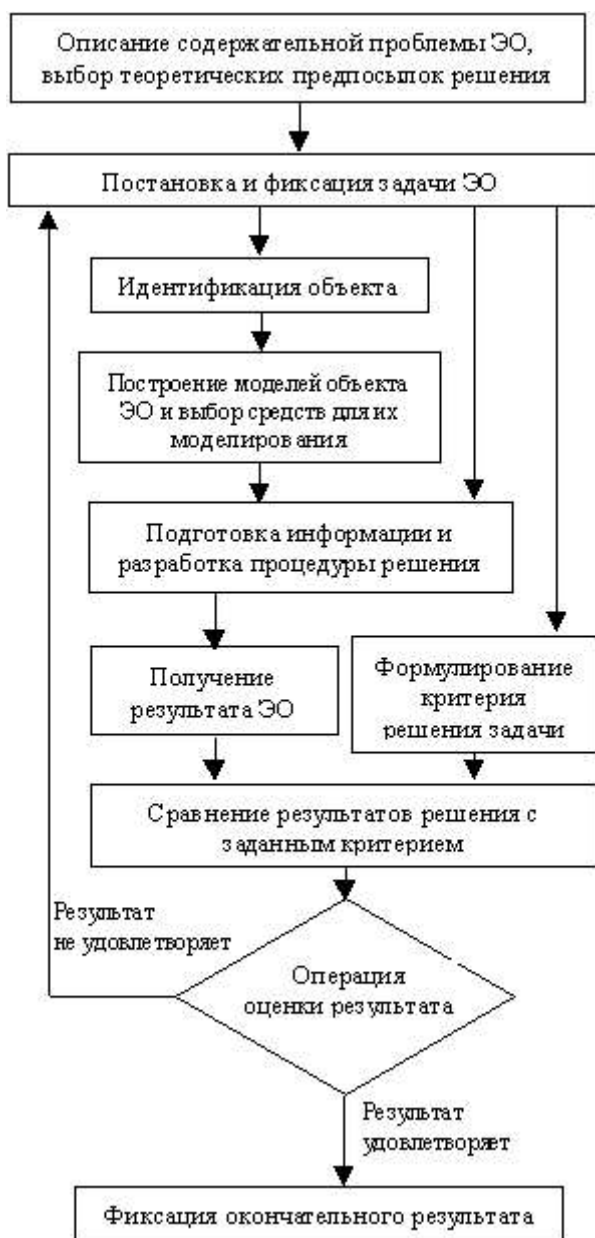


Рис. 1. Модель логической структуры ЭО

В этой модели логической структуры появляется новая операция построения модели (для моделирования на ЭВМ — математической) объекта ЭО и выбора средств его моделирования. Эта операция выступает посредствующим звеном между операцией постановки и фиксации задачи ЭО и операциями подготовки информации и разработки процедуры решения. При этом используются результаты идентификации объекта ЭО. Операция получения результатов ЭО в процессе моделирования использует операции подготовки информации и разработки процедуры решения. На основании результатов постановки задачи ЭО производится операция формулирования критерия ее решения.

Полученный результат решения сравнивается путем операции сравнения с заданным критерием и затем оценивается путем операции оценки результатов. Если результат решения отвечает критерию, то он фиксируется с помощью операции фиксации окончательного результата. Если же он не удовлетворяет, то информация об этом поступает в операцию постановки задачи, после корректировки которой процесс повторяется. При этом модель функционирования СЧМ может изменяться. Операция постановки задачи производится на основании результатов операций описания содержательной проблемы ЭО, выбора теоретических предпосылок решения и операции оценки результатов.

На основании модели логической структуры ЭО выявляются связи операций с применяемыми при их выполнении процедурами.

3. Модель функциональной структуры ЭО

Функциями процесса ЭО будем называть его части, выделенные в зависимости от того, какими средствами они осуществляются — непосредственно экспертом или с помощью технических устройств. Совокупность функций и отношений между ними образует функциональную структуру эргономической оценки как имитационной системы.

Функциональная структура ЭО может быть представлена как качественный состав функций, их количество и отношения между ними. Для выполнения функций используются определенные физические средства. Поэтому функциональную структуру ЭО можно рассматривать определенной на множестве наборов физических средств и имеющей область значений в виде множества наборов выходных характеристик моделируемой СЧМ.

Функциональная структура ЭО позволяет проводить анализ функций вне зависимости от уровня сложности оцениваемой СЧМ. По мере возрастания сложности СЧМ идет перераспределение функций ИС ЭО в сторону замещения информационных органов человека техническими устройствами, в том числе ЭВМ.

Обозначим в виде R функциональную структуру ЭО, $F = \{f(i)\}$ — множество функций, $X = \{x\}$ — множество наборов физических средств, $Y = \{y\}$ — множество выходных характеристик СЧМ. Тогда

$$(x, y) \in A, A \subset X \times Y, \quad (1)$$

где $X \times Y$ — множество упорядоченных пар (x, y) ; A — отношение, которое отражает процесс получения набора выходных характеристик y с помощью набора физических средств x .

Областью определения отношения A функциональной структуры ЭО является множество первых координат $D_0(A) \subset X$.

Областью значений отношения A является множество вторых координат $D_3(A) \subset Y$.

Следствие из (1). Если $x_i \in X$, то сечение по x_i отношения A есть множество $y \in Y$ таких, что $A_i = (x_i, y) \in A$. Отсюда видно, что для фиксированного набора физических средств x_i можно установить набор характеристик моделируемых СЧМ.

Множество A_i всех сечений отношения A образует фактор-множество Y/A по отношению A :

$$Y/A = \bigcup_{i=1}^n A_i, \quad (2)$$

здесь Y/A – фактор-множество Y по отношению A ; n – количество сечений.

Модель функциональной структуры ЭО может быть представлена в виде ориентированного графа отношения, вершины которого соответствуют элементам множеств X и Y , а дуга, направленная из вершины x_i к вершине y_j , означает, что $x_i A y_j$. Пример графа отношения для $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ и $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$ изображен на рис.2.

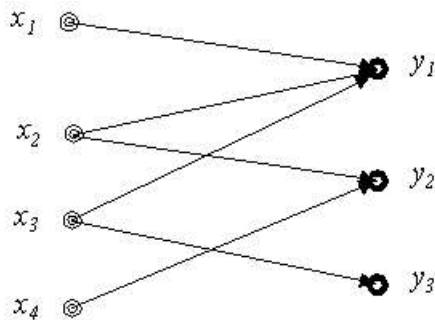


Рис. 2. Пример графа отношений от X к Y

Множество функций F состоит из двух подмножеств:

$$F = G \cup \{g_j\} \cup H \cup \{h_k\}, \quad (3)$$

где $G \cup \{g_j\}$ – подмножество функций ИС, выполняемых информационными органами экспертов; $H \cup \{h_k\}$ – подмножество функций ИС, выполняемых техническими устройствами.

Замещение информационных органов эксперта техническими устройствами является операцией γ перевода элементов подмножества G в элементы подмножества H . Операция γ определена на множестве всех пар

$$P = G \times H. \quad (4)$$

Множество результатов операции γ совпадает с множеством состояний S функциональной структуры R . По аналогии с (2) с учетом (3) и (4) получим

$$H/V = \bigcup_{j=1}^l B_j, \quad (5)$$

здесь H/V – фактор-множество H по отношению V ; $B_j = (g_j, h) \in V$ – сечение по g_j отношения V .

В общем случае множество функций F разбито на m различных подмножеств E_i : $F = \bigcup_{i=1}^m E_i$.

Тогда множество P' всех пар подмножеств E_i составляет величину $P' = \prod_{i=1}^m E_i$.

В этом случае фактор-множество E_i по отношению

C в соответствии с (5) имеет вид $E_i/C = \bigcup_{p=1}^r C_p$, где $C_p = (f_p, f_{p'}) \in C$ – сочетание по f_p отношения C .

Множество S состояний функциональной структуры R является множеством распределения функций между элементами ИС. Переход от одного состояния к другому посредством операции замещения представляет собой перераспределение функций, входящих в R .

4. Модель семиотической структуры ЭО

Семиотическая структура ЭО – это совокупность ее частей, выделенных в зависимости от того, какие семиотические средства используют в ходе эргономической оценки, и их отношений. Семиотическая структура выражается в программах реализации процесса ЭО, которые в зависимости от вида задаваемых в них правил (в эвристической или алгоритмической форме) могут быть эвристическими, алгоритмическими или гибридными. В семиотической структуре ЭО выражается взаимосвязь между экспертами, семиотическими и физическими средствами. Модели семиотической структуры ЭО позволяют обнаруживать и учитывать эти взаимосвязи, чтобы эффективно использовать технические средства имитации, информацию, связанную с решением задач оценки, формировать математическое обеспечение. В то же время, проведение ЭО с помощью полученной в результате имитационного моделирования информации оказывается затруднительным для каждого эксперта и каждого типа СЧМ из-за больших временных и материальных затрат в ходе сбора и обработки первичной информации, а также при построении имитационных математических моделей. Выходом из положения является включение в ИС банка моделей и банка данных (рис.3), в результате чего образуется имитационная система коллективного пользования (ИСКП).

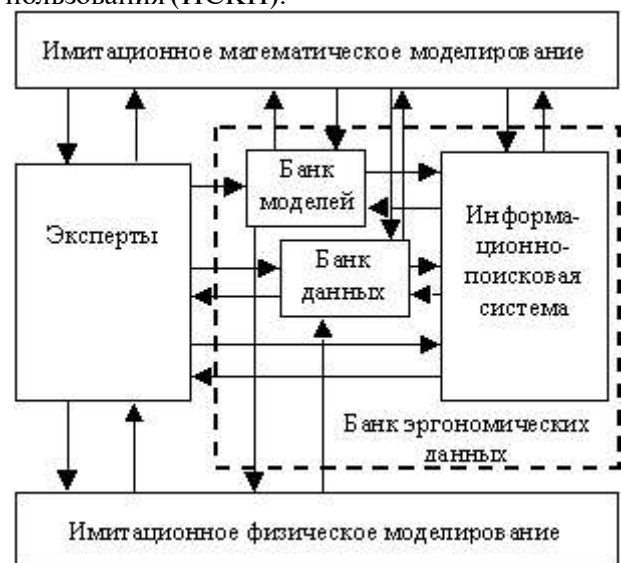


Рис. 3. Структурная схема имитационной системы коллективного пользования

Банк моделей ИСКП не содержит модели, представленные в математической форме. Для обеспечения имитационного физического моделирования в нем находятся сведения о различных тренажерах, имитаторах, алгоритмах выполнения персоналом различных технологических процессов и т.д. Для обеспечения имитационного математического моделирования – вычислительные программы, представленные в алгоритмической форме. Для анализа одной и той же модели в зависимости от используемого метода анализа подбираются соответствующие вычислительные программы. С другой стороны, применяя один и тот же метод исследования к различным моделям, можно использовать одни и те же вычислительные программы. Поэтому программа расчета по каждой из моделей для соответствующего метода должна состоять из пакета программ, являющегося совокупностью отдельных подпрограмм – вычислительных модулей. При составлении программы ее собирают из отдельных модулей.

Таким образом, банк моделей ИСКП должен состоять из двух основных частей – банка проблемно-ориентированных модулей, реализующих отдельные модели СЧМ, и банка стандартных модулей, реализующих вычислительные алгоритмы. Такой подход обеспечивает доступ различных экспертов к исследовательским моделям. Каждый эксперт формирует свою модель с помощью набора существующих модулей.

Банк данных содержит информацию о параметрах и значениях различных коэффициентов имитационных математических моделей СЧМ, а также данные о внешних условиях и управляющих воздействиях, необходимых для проведения имитационных экспериментов (в случае физического моделирования эти сведения использует эксперт при подготовке и непосредственно в ходе исследования), и результатах этих экспериментов.

Банк данных может быть снабжен информационно-поисковой системой (ИПС). Наличие ИПС позволяет в соответствии с запросом эксперта проанализировать содержимое банка данных и банка моделей, быстро найти нужную информацию, представить ее эксперту или же подготовить и ввести ее в качестве исходных данных, необходимых для проведения имитационного математического моделирования.

ИСКП содержит в себе совокупность содержательных моделей СЧМ, используемых отдельными экспертами – частных имитационных моделей (ЧИМ). На их основе создается большая имитационная модель (БИМ) – это основная, наиболее сложная и наиболее подробная модель СЧМ, создаваемая путем формализации и объединения содержательных моделей отдельных аспектов функционирования СЧМ. Каждый эксперт (или один и тот же эксперт при проведении ЭО различных типов СЧМ) может общаться с БИМ при помощи своей содержательной модели.

Имитационное моделирование, прежде всего на ЭВМ, предоставляет эксперту такую информацию, которую иными способами получить невозможно. Основным недостатком имитационного эксперимента состоит в возможности изучения ограниченного числа воздействий на изучаемый объект в разумное время. Частично проблема решается путем использования методов планирования имитационных эк-

спериментов. Кроме того, банк моделей содержит вспомогательные упрощенные имитационные модели (УИМ). С помощью УИМ эксперт может сделать первичную оценку влияния на выходные характеристики совокупности различных воздействий, выбрать наиболее значимые из них и в дальнейшем проверить и уточнить свои выводы с помощью ЧИМ, а при необходимости и БИМ. Следует заметить, что упрощенные и частные модели в общем случае могут быть не только имитационными.

Использование ИСКП для получения ЭО должно привести к улучшению качества получаемых результатов и, соответственно, к повышению эффективности управленческих решений. Однако в процессе принятия решения по результатам ЭО могут возникнуть сложности, связанные с необходимостью оценки решения по нескольким показателям, в различные моменты времени, при нескольких вариантах внешних условий, при различных критериях решения задачи. Из этого следует необходимость использования многокритериальных методов принятия решений.

Семиотическая структура процесса ЭО конкретизируется в виде системы имитационного анализа (СИА), в которой осуществляется работа эксперта (экспертов), использующего имитационное моделирование. СИА обладает способностью развиваться: могут усложняться как содержательные модели СЧМ, так и их формализация, структура информации, программная реализация модели. Кроме того, отдельные СИА объединяются в большие имитационные системы (БИС).

Объединение отдельных СИА в единую БИС происходит при наличии в них единого методологического обеспечения, одинаковых способов описания проблемных ситуаций ЭО, проверки гипотез и анализа результатов имитации. Должны быть также единые способы формирования программного обеспечения и программной реализации моделей. При этом сами программы могут быть разными. Условием объединения должна быть возможность их включения в единый пакет и извлечения оттуда по запросам эксперта.

Таким образом, анализ системы моделей структуры ЭО как ИС позволяет сформулировать метод имитационного анализа СЧМ как метод эргономической оценки СЧМ, основанный на использовании имитационного моделирования функционирования СЧМ или моделирования деятельности рассматриваемого персонала СЧМ в рамках БИС.

Литература: 1. *Зинченко В.П., Мунипов В.М.* Основы эргономики. М.: Изд-во МГУ, 1979. 344 с. 2. *Стрелец В.М.* Методы эргономической оценки деятельности личного состава подразделений пожарной охраны // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. Спец. вып. Харьков: ХИПБ, 1999. С. 60-80. 3. *Моисеев Н.Н.* Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 487 с. 4. *Ладенко И.С.* Имитационные системы. Новосибирск: Наука: Сиб. отд-ние, 1981. 300с.

Поступила в редколлегию 01.03.2001

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ашеро́в А.Т.

Стрелец Виктор Маркович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры организации службы и подготовки Академии пожарной безопасности Украины. Научные интересы: эргономика и инженерная психология, имитационное моделирование экстремальной деятельности персонала. Адрес: Украина, 61085, Харьков, ул. Астрономическая, 35-Е, кв.111, тел. 40-20-32, 19-90-42.