Горячкин Б.С., Махоткина Е.С.

Анализ операторской деятельности в человеко-машинных системах

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/lj-07-2020-70

idsp: ljjournal-07-2020-70

Аннотация

Актуальность статьи обусловлена тем, что современное проектирование систем «человек-машина» является человеко-ориентированным, то есть, опирается, прежде всего, на сильные и слабые стороны человека, которые необходимо формализовать.

Статья посвящена анализу деятельности человека-оператора на основании оценки различных типов выполняемых человеком в контуре управления операций. Деятельность человека описывается с помощью методов математического моделирования. Разработана и апробирована на конкретном примере методика операторской деятельности с применением математических моделей.

Ключевые слова. Система «человек-машина», человек-оператор, вероятностная оценка, временная напряжённость, существенная операция.

Введение

В проектной практике эргономики большое внимание уделяется функционированию человека-оператора (ЧО) в контуре управления, анализу его деятельности, безошибочной работе [8] и возможной оценке с помощью математических моделей. Основное преимущество этих моделей состоит в том, что они позволяют рассматривать эргономические проблемы уже с момента зарождения программы, разработки, а не на предпоследнем этапе только для того, чтобы как-то включить человека в систему. Будучи вовлеченными в проектную деятельность с первоначального ее этапа, эргономисты оказываются перед необходимостью кардинального, а не частичного решения проблем человеческого фактора в технике, что, в свою очередь, стимулирует инновационную деятельность по созданию изделий, рабочих мест и систем. Кроме традиционных преимуществ, имеются дополнительные аргументы в пользу использования матмоделей в эргономике.

- Эргономисты совместно с проектировщиками, инженерами, системотехниками участвуют в создании техники и технологии. А партнеры эргономистов привыкли иметь дело с количественными показателями.
- Математические модели в эргономике можно тесно связать с общей теорией систем, которая открывает широкие возможности для применения математических методов.
- Математическое моделирование является важным средством развития эргономики как научной дисциплины.
- Математическое моделирование применяется для изучения такого сложного явления, как деятельность человека.
- Матмоделей требуют определенной системы и способствуют повышению культуры в сборе данных.
- Математические модели позволяют нередко осуществлять синтез там, где раньше он был невозможен.

Однако применение таких моделей накладывает ряд ограничений и порождает ряд проблем. Это обусловлено следующими факторами.

- Возможности моделей ограничены, и они могут неадекватно отражать деятельность человека.

- Модели могут давать повод для необоснованной экстраполяции. Например, сервомеханическая модель предлагалась для применения в эргономике. Вначале эта модель касалась лишь деятельности оператора при выполнении задачи компенсаторного слежения. Затем предпринимались попытки использовать ее для изучения деятельности, в которой определяющее значение приобретают такие факторы, как память и способность прогнозирования. Однако, сервомеханические модели теряют свою эффективность при их экстраполяции на эту область.
- Модели могут отрицательно влиять на проектирование работы. Существует опасность, что проектировщики, используя математические модели, будут видеть в рабочем месте интеграцию отдельных задач, количественно выражаемых, и не будут обращать внимание на социальный аспект деятельности.
- В некоторых случаях модели превращаются в самоцель. Устанавливаются взаимосвязи, которые не имеют практической ценности.
- Модели могут толкать на упрощенные эксперименты. В то же время могут создаваться модели на основе упрощенных экспериментов.
- Даже простые описательные модели могут иметь свои внутренние проблемы. Тем более это относится к сложным математическим моделям. Многие модели, особенно касающиеся когнитивных процессов, настолько сложны, что даже трудно, представить возможность их проверки, разве только на очень глобальном уровне.

Кроме того, наиболее трудно поддаются определению классы переменных — мотивационные и когнитивные. Когда специалисты по эргономике вводят в свою модель такую переменную, как мотивация, они часто определяют ее в таких терминах, как высокая, средняя и низкая. Здесь сразу же напрашивается вопрос: высокое, среднее или низкое — что? Переменная, лишенная объективного содержания, добавляет еще один неизвестный элемент во включающее ее уравнение. Многие модели содержат переменные именно этого типа. В результате большинство из них остаются мертворожденными, так как не основываются на достаточных эмпирических данных. Сбор и подготовка информации в целях моделирования представляет трудоемкую задачу. Приходится забираться далеко вглубь, что отнюдь не так интересно, как само создание модели. По этой причине эргономисты иногда экономят на информационной базе, охотно идут на упрощения, что существенно снижает полезность выполненных в этом направлении работ.

Методика деятельности ЧО в СЧМ на основе математического моделирования деятельности операторов

В основу такого моделирования положена идея использования методов Монте-Карло для имитации вероятностно-временных характеристик деятельности операторов. Метод Монте-Карло (методы Монте-Карло, ММК) — общее название группы численных методов, основанных на получении большого числа реализаций стохастического (случайного) процесса, который формируется таким образом, чтобы его вероятностные характеристики совпадали с аналогичными величинами решаемой задачи [2]. Большим преимуществом метода Монте-Карло является то, что он позволяет учесть в модели элемент случайности и сложность реального мира. Кроме того, метод является робастным по отношению к изменению различных параметров, таких как распределение случайной величины [6]. Степень расчленения деятельности оператора на отдельные операции зависит от цели расчета и не имеет для модели

существенного значения. В общем случае время выполнения отдельной операции состоит из двух составляющих:

$$T_i = T_{i.o.g.} + T_{ip} \quad (1)$$

где $T_{i.o.g.}$ — время основной деятельности оператора внутри i -ой операции; T_{ip} — время резерва внутри i -й операции.

Время резерва T_{ip} не является показателем каких-либо индивидуальных качеств оператора и характеризует конкретную техническую реализацию системы "человек — машина" и производственную обстановку в зоне выполнения работы. Поэтому можно считать, что $T_{ip} = \text{const}$ для каждой i -й операции. Время основной деятельности $T_{i.o.g.}$, наоборот, характеризует индивидуальные качества операторов и распределено по усеченному нормальному закону в виду человеческого фактора, то есть нормальный закон на некотором интервале представляет собой возрастающую, а затем убывающую функцию.

Весь выбор операций ранжируется на операции существенные и несущественные. Существенная операция — операция, невыполнение которой приводит к срыву всей задачи. Операция, невыполнение или пропуск которой не приводит к срыву задачи, а лишь ухудшает конечный эффект, например точность, считается несущественной. Разность между временем, отведенным на выполнение задачи, и необходимым — внешний резерв, или дефицит, времени. Суммарное время всех несущественных операций является внутренним резервом. В дефиците времени оператор может жертвовать ближайшими, в порядке следования, несущественными операциями. Если упущенное время наверстывается, оператор приступает к выполнению всех последующих операций без исключения. В процессе моделирования деятельности вводится понятие напряженности. Для каждой операции определяется коэффициент временной напряженности [4]

$$S_{ij} = \frac{\sum_{l=i+1}^n T_{lj} | B_1 = 1}{T_{ц} - T_{изатр}} \quad (2)$$

где S_{ij} — коэффициент временной напряженности i -й операции в j -й реализации; $\sum_{l=i+1}^n T_{lj} | B_1 = 1$ — время, необходимое на выполнение оставшихся (после i -й) существенных операций; B_1 — индекс существенности ($B=1$ операция существенная; $B=0$ — несущественная); $|$ - множество элементов, удовлетворяющих условию. $T_{ц}$ — время, отведенное на выполнение всей задачи (время цикла); $T_{изатр}$ — реально затраченное время на выполнение операций до $(i+1)$ -й в j -й реализации; n — общее количество операций в данной задаче; i — переменная номера моделируемой операции; j — номер реализации алгоритма деятельности.

Исследования показывают, что время выполнения отдельной операции и его разброс линейно сокращаются — эффект так называемой интенсификации (мобилизации) внутренних резервов оператора [5]. Для "среднего" оператора $S_{ij \text{ пред}} = M_0 = 2,3$. С ростом коэффициентов временной напряженности вероятность безошибочного выполнения операции падает от значения $\bar{p}_i$ (задается как входной параметр) до величины

$$P_{ij} = \bar{p}_i - \frac{\bar{p}_i(S_{ij}-1)}{M_0-1} \quad (3)$$

при $1 \leq S_{ij} \leq M_0$ или

$$P_{ij} = \bar{p}_i - \frac{\bar{p}_i(S_{ij}-1)}{1,3} \quad (4)$$

при $1 \leq S_{ij} \leq M_0$

где $\bar{p}_i$ — вероятность безошибочного выполнения i -й операции в нормальных условиях. То есть, если коэффициент временной напряженности возрастает до предела 2,3, то вероятность безошибочного выполнения операции падает до нуля.

Выдвигается гипотеза об уменьшении вероятности безошибочного выполнения операции с ростом коэффициента временной напряженности от $P_{ij} = \bar{p}_i$ при $S_{ij} \leq 1$ до $P_{ij} = 0$ при $S_{ij} = M_0 = 2,3$. Экспериментальные исследования деятельности оператора показали, что если оператор жестко не лимитирован инструкцией, то к выполнению несущественной операции он приступает в зависимости от оставшегося у него времени. В этой связи вероятность того, что оператор приступит к выполнению несущественной операции, в зависимости от израсходованного времени имеет вид [1]

$$P_H = \exp(-\lambda_i t_{H1} | B_i = 0) \quad (5)$$

где λ_i – интенсивность отказов, распределённая по экспоненциальному закону.

Экспоненциальное распределение моделирует время между двумя последовательными свершениями события, а параметр λ описывается среднее число наступлений события в единицу времени. Обычно с помощью этого закона описывают: продолжительность обслуживания покупателя, время жизни оборудования до отказа, промежутки времени между поломками и т.п.

Логически оправдано

$$P_H = 1 \text{ при } t_{H1} = t_{H0}, P_H T_2 \rightarrow 0 \text{ при } t_{H1} \rightarrow T_2 \quad (6)$$

где T_2 – средняя наработка до отказа для второй операции, t_{H1} – время, затраченное на выполнение несущественной операции.

Для нахождения λ_2 предположим, что $t_H = T_2$, $P_H T_2 \approx 10^{-3}$. Перейдя к общим обозначениям $P_H T_1 | B_i = 0 = \exp(-\lambda_i T_1 | B_i = 0) \approx 10^{-3}$ получим:

$$\lambda_i = \frac{6,9}{T_i | B_i = 0} \quad (7)$$

Таким образом, риск оператора — приступать или не приступать к выполнению несущественной операции в зависимости от того, сколько времени от ее длительности уже израсходовано — учитывается следующим образом: выбирается случайное число, равномерно распределенное в интервале 0—1. Это число имитирует вероятность приступать к выполнению i -й несущественной операции ($P_H T_1 | B_i = 0$).

Полученная вероятность пересчитывается на время, определяющее предельную точку выполнения данной операции:

$$t_{H1 \text{ пред}} = \frac{\ln P_{H1} T_i}{6,9} \quad (8)$$

Затем предельное время $t_{H1 \text{ пред}}$ сравнивается с текущим временем, израсходованным оператором $T_{\text{израсх}}$. Если $T_{\text{израсх}} \leq t_{H1 \text{ пред}}$ — операция выполняется, если $T_{\text{израсх}} \geq t_{H1 \text{ пред}}$ — не выполняется. Если весь алгоритм деятельности оператора разложить на отдельные операции, то с точки зрения возможных состояний (по аналогии с анализом надежности и эффективности технических средств) можно составить матрицу несовместимых событий:

$$\begin{array}{c|cccccc|c} x_{01} & x_{02} & x_{03} & \dots & \dots & x_{0n} & F_0 \\ \bar{x}_{01} & x_{02} & x_{03} & \dots & \dots & x_{0n} & F_1 \\ x_{01} & \bar{x}_{02} & x_{03} & \dots & \dots & x_{0n} & F_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{01} & x_{02} & x_{03} & \dots & \dots & \bar{x}_{0n} & F_n \end{array}$$

где x_{0i} — состояние i -го входного параметра (в нашем случае i -й операции), соответствующее 1 (безошибочное выполнение операции); $\bar{x}_{0i}$ — состояние i -го входного параметра, соответствующее 0 (выполнение с ошибкой или пропуск операции); F_i — эффективность, соответствующая данному набору состояний.

Из матрицы следует, что суммарная эффективность состоит из двух составляющих:

$\prod_{i=0}^n P_i F_0$ — эффективность события, когда все операции выполнены безошибочно.

$\prod_{i=1}^n P_i \sum_{\alpha} \frac{1-P_{\alpha}}{P_{\alpha}} F_{\alpha}$ — эффективность невыполнения (или выполнения с ошибкой) i -й несущественной операции.

В матрице не рассмотрены случаи совместного ошибочного выполнения или пропуска операций, например, попарно, по три и т. д.

Таким образом, суммарная эффективность деятельности будет иметь вид:

$$F_{\Sigma} = \prod_{i=1}^n P_i F_0 + \prod_{i=1}^n P_i \sum_{\alpha=1}^n \frac{1-P_{\alpha}}{P_{\alpha}} \quad (9)$$

$$F = \prod_{i=1}^n P_i + \prod_{i=1}^n P_i \sum_{\alpha=1}^n \frac{1-P_{\alpha}}{P_{\alpha}} K_{\alpha}, \quad (10)$$

где $K_{\alpha} = \frac{F_{\alpha}}{F_0}$ — нормированный коэффициент сохранения эффективной деятельности.

Необходимо обоснование правомерности аналогии функциональной избыточности для технических средств с несущественными операциями при моделировании деятельности. Находясь в дефиците времени, оператор может пропустить несущественную операцию или допустить ошибку при ее выполнении. Очевидно, что пропуск или ошибочное выполнение несущественной операции если и не ведет к полному срыву задачи, то ухудшает ее результат. Последнее должно сопровождаться разыгрыванием коэффициента сохранения эффективности деятельности в данной задаче (K_{α}): равномерно распределенное в интервале 0—1 случайное число (φ) сравнивается с K_{α} (задается как исходный параметр):

- если $\varphi \leq K_{\alpha}$ — задача выполнена
- если $\varphi > K_{\alpha}$ — задача не выполнена

Значения K_{α} лежат в пределах 0—1: $K_{\alpha}=0$ — операция существенная; $K_{\alpha}=1$ — операция, полностью дублирующая другой (эквивалент "горячего" резерва в теории надежности); $0 < K_{\alpha} < 1$ — операция несущественная. С течением времени предельный коэффициент временной напряженности уменьшается за счет утомления оператора. Общепринятое соотношение времени ответной реакции и текущего времени работы приведено ниже. Сравнивая кривую

$$T_{\text{в.о.р.}} = f(t_{\text{сек}}) \quad (11)$$

с известной кривой интенсивности отказов Λ — характеристикой из теории надежности, нетрудно заметить идентичность их изменений [7].

Можно выдвинуть предположение об идентичности законов распределения времени, безотказной работы технических устройств и коэффициента временной напряженности в зоне $T=\text{const}$.

$$M(t) = M_0 l^{-\lambda t}, \quad (12)$$

где M_0 — предельное значение коэффициента временной напряженности ($M_0=2,3$); λ — параметр закона распределения; t — текущее время работы оператора.

Согласно закону совмещенной оценки надежности и долговечности [3], продолжительность непрерывной работы оператора должна быть в x раз меньше времени форсированного режима (t_i — мажорантный срок). Опуская все преобразования, приведем результирующую формулу:

$$t_{\text{опт}} = \frac{t_i}{x} \left(\frac{c_i}{c} \right)^2 \quad (12)$$

где $x = \frac{\lg q(t)}{\lg q(t_1)}$

$q(t)$ — вероятность ошибки оператора при работе в нормальных условиях ($S_{ij} \leq 1$);

$q(t_1)$ — вероятность ошибки оператора при работе в форсированном режиме ($M_0 \geq S_{ij} > 1$);

C_i, C — соответственно максимальная и средняя скорости переработки поступающей информации ($C_i=30, C=10$ бит/с).

Перейдя к вероятности безошибочной работы оператора, получим:

$$q(t_1) = 1 - P_{ij} \quad (13)$$

Предельное время форсированной работы оператора определяется многими параметрами: назначением системы, условиями работы и т. д. [4] Предельное время работы можно определить исходя из медико-биологических требований. Пусть оно задано и $t_i=T$, тогда:

$$t_{\text{опт}} = \frac{9Tlg \frac{1,3 - \bar{p}(2,3-S_{ij})}{1,3}}{lg(1-p_i)} \quad (14)$$

Откуда:

$$\lambda = \frac{0,8lg(1-\bar{p}_i)}{9Tlg \frac{1,3 - \bar{p}_i(2,3-S_{ij})}{1,3}} \quad (15)$$

при $M(t_{\text{опт}}) = M_0 l^{-\lambda t_{\text{опт}}} = 1$

Таким образом, λ_{ij} учитывает не только текущую напряженность при моделировании i -й операции, но и вероятность безошибочного ее выполнения: $M_{ij}(t) = M_0 \exp(-\lambda_{ij} \tau)$ или

$$M_{ij}(t) = M_0 \exp \left[- \frac{0,09lg(1-\bar{p}_i)\tau}{Tlg \frac{1,3 - \bar{p}_i(2,3-S_{ij})}{1,3}} \right] \quad (16)$$

При $S_{ij} = 1$, т. е. при отсутствии напряженности:

$$M_{ij}(t) = M_0 \exp \left[- \frac{0,09}{T} \tau \right] \quad (17)$$

Естественно, что в этом случае предельный коэффициент временной напряженности меняется только в функции времени непрерывной работы оператора (τ). Если необходимо смоделировать "спокойный" режим работы оператора, в модель вводится $M_0 = 1$, т. е. :

$$M_{ij}(t) = \exp \left[- \frac{0,09lg(1-\bar{p}_i)\tau}{Tlg \frac{1,3 - \bar{p}_i(2,3-S_{ij})}{1,3}} \right] \quad (18)$$

Предложенный метод предусматривает возможность моделирования совмещенных действий и деятельности группы операторов. На основании всего изложенного в данном разделе, можно представить методику деятельности ЧО (МДЧО) с учетом квалификации и психологической направленности операторов, морального состояния и психологической напряженности, следующим образом:

Постулат 1. Деятельность оператора разбивается на отдельные операции, которые выполняются последовательно;

Постулат 2. Совокупность этих операций образуют цикл деятельности человека-оператора (по аналогии с алгоритмом);

Постулат 3. В качестве базового элемента берется время выполнения одной операции отдельной реализации (цикла);

Постулат 4. В основу такого моделирования положена идея использования методов Монте-Карло для имитации вероятностно-временных характеристик деятельности операторов и аналогия работы ЧО с механизмами (то есть его деятельность описывается законами теории надёжности).

Постулат 5. все операции ранжируются на существенные и несущественные:

- существенная операция — операция, невыполнение которой приводит к срыву всей задачи

- незначительная операция – это такая операция, невыполнение или пропуск которой не приводит к срыву задачи, а лишь ухудшает конечный эффект

Постулат 6. На основании законов и положений теории надёжности оцениваются вероятности безошибочной работы человека-оператора.

Применение МДЧО для анализа операторской деятельности

Рассмотрим работу методики на примере - нажатие кнопки смены статуса текущей задачи. Задача оператора состоит в том, чтобы найти на экранной форме кнопку и изменить текущее значение ячейки «Статус». Приведённые параметры не являются конкретными и взяты из опыта, так как проверяется сама методика.

Время выполнения операции рассчитывается по формуле (1).

$T_{i o.g.}$ — время основной деятельности оператора внутри i -ой операции, равное 2.6 сек.

T_{ip} — время резерва внутри i -й операции.

Так как $T_{ip} = \text{const}$ для каждой i -й операции и его усреднённое значение равно 0.4 секунды. Таким образом, время выполнения смены статуса текущей задачи равно:

$$T_i = 2.6 + 0.4 = 3 \text{ сек} \quad (19)$$

Рассчитаем коэффициент временной напряжённости по формуле (2).

Рассчитаем коэффициент временной напряжённости по формуле (2).

$$\sum_{j=i+1}^n T_{ij} |B_j = 1$$

время, необходимое на выполнение оставшихся (после i -й) существенных операций; B_1 — индекс существенности ($B=1$ операция существенная; $B=0$ — незначительная), усреднённое значение которого равно 7.5 сек

$T_{ц}$ — время, отведенное на выполнение всей задачи, равное 9 сек

$T_{i \text{ затр}}$ — реально затраченное время на выполнение операций до $(i+1)$ -й в j -й реализации, среднее значение которого равно 5 сек

Таким образом,

$$S_{ij} = \frac{7.5}{9-5} = 1.875 \quad (20)$$

Вероятность безошибочного выполнения операции смены статуса равна:

$$P_{ij} = \bar{p}_i - \frac{\bar{p}_i(1.875 - 1)}{1.3} = 0.33\bar{p}_i$$

Таким образом, если $S_{ij} \leq 1$, то $P_{ij} = \bar{p}_i$, однако с ростом коэффициента временной напряжённости вероятность безошибочного выполнения операции падает, что и требовалось доказать.

Заключение

При проектировании человеко-машинных систем анализ деятельности человеческой компоненты вызывает наибольшие проблемы. Определить вероятность ошибки ЧО, посчитать общее количество ошибочных действий – задача, способная значительно повысить качество систем «человек-машина». В настоящей статье обоснована необходимость применения методов математического моделирования для оценки человеческой деятельности. Предложена и апробирована методика деятельности операторов в контуре управления на основе математических моделей с учетом ранжирования операций.

Главные проблемы, которые возникают при этом, связаны с выявлением всего комплекса психофизиологических свойств и характеристик человека, существенных для его деятельности в системе. Именно они должны быть отражены в

соответствующих математических моделях, призванных для количественного описания указанной деятельности.

1. Мунипов В.М., Зинченко В.П. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды: Учебник. - М.: Логос, 2001. - 356 с
2. Соболев И. М. Метод Монте-Карло. — М.: Наука, 1968. — 64 с. Популярные лекции по математике — 79 000 экз.
3. Федотов, А. В. Основы теории надежности и технической диагностики: конспект лекций / А. В. Федотов, Н. Г. Скабкин. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2010. – 64 с.
4. Балакирев В.С. Надежность технических и программных средств автоматизации: учеб. пособие / В.С. Балакирев, В.Я. Бадеников. – Ангарск: АТИ, 1994. – 64 с
5. Кляуззе Венедикт. Эргономика информационной среды // Наука и инновации. 2014. №137. Жаргалсайхан Н., Оюунчимэ Ш. Информационные технологии и эргономика // Сиб. мед. журн. (Иркутск). 2016. №2.
6. Пригарин С.М. Методы численного моделирования случайных процессов и полей / Отв. ред. Г. А. Михайлов. — Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2005. — 259 с.
7. Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности: учебник для вузов по спец. “Автоматизированные системы управления” / Т.А. Голинкевич. – М.: Высшая школа, 1985. – 168 с.
8. Горячкин Б.С., Харлашкин А.И. Автоматизированная система эффективного взаимодействия человеческой и машинной компоненты на основе актуализированной классификации типов ошибок человека-оператора // Международный научный журнал «Динамика сложных систем – XXI век» – М.: Издательство «Радиотехника», 2019. – № 5. – С. 19-29.

Годлевская Д.В., Маркосян О.Р., Пидяшова А.А.

Расширение применения систем искусственного интеллекта в банковской сфере

*Краснодарский филиал РЭУ им. Г.В. Плеханова
(Россия, Краснодар)*

doi: 10.18411/lj-07-2020-71

idsp: ljjournal-07-2020-71

*Научный руководитель:
Фролов Р.Н.*

Аннотация

В статье рассматриваются актуальные вопросы применения систем искусственного интеллекта в качестве инструмента развития банковского бизнеса. Выделены направления внедрения искусственного интеллекта, которые позволят банкам обеспечить свое конкурентное преимущество. Проанализирован опыт ведущего банка России – Сбербанк по внедрению цифровых платформ и искусственного интеллекта. Определены сферы банковского бизнеса, в которых внедрение подобных систем является наиболее перспективным.

Ключевые слова: искусственный интеллект, банки, информационные системы, информационные технологии

Abstract

The article discusses current issues of the use of artificial intelligence systems as a tool for the development of the banking business. The directions of the introduction of artificial intelligence are highlighted, which will allow banks to provide their competitive advantage. The experience of the leading bank of the Russia - Sberbank on the introduction of digital platforms and artificial intelligence is analyzed. Areas of banking business are identified in which the introduction of such systems is the most promising.

Keywords: artificial intelligence, banks, information systems, information technology