

Инженерная психология, педагогика, эргономика, дизайн

УДК 331.015.11

DOI: 10.12737/24950

С.В. Кондратенко, А.А. Кузьменко, В.В. Спасенников

**МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ
В ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ**

Предложена методология оценки деятельности операторов человеко-машинных систем. Предлагаемый подход ориентирован на разрешение противоречия между формулировкой квалификационных требований к операторской деятельности в показателях ее качества и существующими метода-

ми, обеспечивающими оценку функциональной эффективности деятельности.

Ключевые слова: оператор, человеко-машинная система, качество деятельности, эргономика, математические модели.

S.V. Kondratenko, A.A. Kuzmenko, V.V. Spasennikov

**METHODOLOGY IN ASSESSMENT OF OPERATOR ACTIVITY
IN MAN-MACHINE SYSTEMS**

In the paper the methodology in the assessment of operator activities in man-machine systems is offered. The approach offered is directed to the solution of the contradiction between the definition of qualifying requirements to operator activity in indices of its quality and existing methods ensuring the assessment of the functional efficiency of activity. The indices of the quality assessment of operator activity and characteristics of qualifying requirements for operators of "man-machine" systems are defined. In the paper there is shown a structural chart of a program complex for the assessment of operator activity quality. Methods of a statistical modeling suitable for the solution of the problem of accuracy increase in the assessment of operator activities quality are considered. Basic requirements and assumptions used in the course of the forma-

tion of a model of the operator activity and assessment of its quality are defined. The assessments of quality indices of operator activity obtained on the model can be specified using various procedures increasing the efficiency of statistical method modeling. A statistical modeling allows imitating the activity processes actually without limitation of the amount of factors taken into account and without demanding the presentation of investigated dependences in an actual view regarding a desired variable. A variety of used in practice indices and methods of their assessment is determined first of all by a varied structure of existing kinds of operator activity and their purposefulness.

Key words: operator, man-machine system, activity quality, ergonomics, simulators.

Основной целью функционирования любой человеко-машинной системы (ЧМС) является достижение некоторого полезного эффекта, определяемого кругом задач, для решения которых данная система предназначена. Роль операторов в процессе функционирования ЧМС заключается в том, чтобы обеспечить выполнение этих задач с наилучшим качеством или, по крайней мере, с качеством не хуже заданного.

каждом конкретном случае функцией многих факторов, влияние которых проявляется случайным образом [1].

Как в отечественных, так и в зарубежных исследованиях в сфере эргономики и педагогической психологии накоплен целый ряд концепций, связанных с анализом и формализованным описанием деятельности в системах различного целевого назначения. При этом количество операторских профессий и должностей имеет устойчивую тенденцию роста [3].

Понятие «качество выполнения задачи» является достаточно широким и в общем случае может определяться всевозможными точностными, временными и другими характеристиками. Вместе с тем качество выполнения задачи является в

Деятельность операторов с системных позиций изучается в наноэргономике на базе NBIC-конвергенции наук (N – нано-, B – био-, I – инфо-, C – когнитивные науки) [6].

Оператор - это человек, принимающий участие в управлении объектами и системами и являющийся составным элементом человеко-машинной системы. В общероссийском классификаторе профессий (ОКГТДТР) приводится около 350 различных операторских профессий и 20 операторских должностей. При этом вне зависимости от вида ЧМС целью оценки операторской деятельности является определение соответствия достигнутого уровня подготовки оператора (его квалификации) предъявляемым требованиям. Формулировка этих требований и определяет тот показатель деятельности, достижение которого равнозначно достижению целей операторской подготовки.

В квалификационных требованиях (КТ) к операторам любой ЧМС объектом требований являются родовые (типовые) задачи операторской деятельности. Родовая задача - это термин, определяющий класс (множество) заданных ситуаций и требований задачи, имеющих один и тот же алгоритм решения. Сами требования к операторам обычно представлены в терминах, не зависящих от конкретной области деятельности: иметь представление, знать, уметь, владеть, иметь опыт. Такая формулировка требований соответствует принятой классификации уровней усвоения: 1) иметь представление – знания-знакомства; 2) знать – знания-копии; 3) уметь – знания-умения; 4) владеть – знания-навыки; 5) иметь опыт – знания-трансформации. Поскольку уровень освоения деятельности «знания-трансформации», соответствующий требованию «иметь опыт», может быть достигнут только в процессе фактической профессиональной деятельности, непосредственное отношение к оценке деятельности операторов ЧМС в процессе их подготовки имеют два требования: 1) уметь – знания-умения; 2) владеть – знания-навыки [2].

Таким образом, в соответствии с формулировкой КТ оценка деятельности операторов ЧМС должна представлять собой процедуру измерения и последующего оценивания показателей качества операторской деятельности при реализации алгоритма решения определенной родовой

задачи. Существующий подход к оценке операторской деятельности противоречит этому требованию, поскольку не предполагает оценки качества деятельности оператора, а ограничивается только оценкой ее функциональной эффективности. Разрабатываемая методология оценки деятельности операторов ЧМС ориентирована на устранение данного противоречия [7].

Любая предлагаемая оператору в процессе подготовки индивидуальная задача формулируется в виде критериальной задачи. Формулировка критериальной задачи включает в себя: 1) описание определенной проблемной ситуации; 2) требование задачи, определяющее условия разрешения этой ситуации как цель деятельности оператора. Выполнение этого требования является критерием оценивания деятельности оператора с позиций системного подхода [9].

Наиболее общей характеристикой качества функционирования ЧМС является ее эффективность P , количественно характеризуемая вероятностью выполнения задачи на требуемом уровне за определенное время и при определенных условиях [2].

Многообразие используемых на практике как показателей, так и методов их оценки определяется прежде всего различной структурой существующих видов операторской деятельности и их целенаправленностью.

Реальная деятельность операторов управления представляет собой достаточно сложную совокупность простейших видов деятельности, и применение перечисленных выше показателей не всегда возможно вследствие сложности членения деятельности на простые составляющие. Особенно это характерно для деятельности операторов управления сложными ЧМС. В этом случае для оценки качества деятельности используют два основных показателя: время решения задачи управления и вероятность своевременного и безошибочного решения таких задач.

Методы получения этих показателей можно в общем случае разделить на три класса: аналитические методы, методы математического моделирования и экспериментальные методы [7].

Используя аналитические методы, на базе приведенных показателей можно построить обобщенный показатель эффективности деятельности оператора, представив его в виде обобщенного критерия:

$$W = \int_{\Omega} \varphi(t)Q(t)dt, \quad (1)$$

где t – время решения оператором задачи управления; $\varphi(t)$ – плотность распределения вероятности времени решения задач; $Q(t)$ – условная эффективность деятельности оператора для случая, когда время решения задачи управления приняло значение t ; Ω – область определения случайной величины t .

В этом случае естественно предположить, что при неправильном (ошибочном) решении задач управления эффективность деятельности оператора равна 0. Определим условную эффективность деятельности оператора как

$$Q(t) = P(t)G(t), \quad (2)$$

где $P(t)$ – вероятность безошибочного решения задачи управления за время t ; $G(t)$ – условная эффективность деятельности оператора, когда задача решена правильно за время, не превышающее t .

Согласно работе [2], $P(t)$ описывается смещенной экспонентой, при этом в исследовании [3] показано, что такое представление вероятности безошибочного и своевременного решения задачи дает оценку снизу для реальной вероятности. Выражение для $P(t)$ имеет вид

$$P(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < t_1; \\ 1 - \exp\left\{-\frac{1}{\sigma}(t - t_1)\right\} & \text{при } t \geq t_1, \end{cases} \quad (3)$$

где t_1 – минимальное время, необходимое для решения задачи управления; σ – среднее квадратическое отклонение времени безошибочного решения задач управления.

$$W = \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^{t_g} \exp\left\{-\frac{(t - \bar{t}_0)^2}{2\sigma^2}\right\} \left[1 - \exp\left\{-\frac{1}{\sigma}(t - t_1)\right\}\right] dt. \quad (6)$$

После преобразования показатель эффективности деятельности операторов определяется в виде

$$W = 1 - C^* \left[F_0\left(\frac{t_g - \bar{t}_0}{\sigma} + 1\right) - F_0\left(\frac{t_1 - \bar{t}_0}{\sigma} + 1\right) \right], \quad (7)$$

Функция $G(t)$ характеризует условную эффективность деятельности оператора в том случае, когда задача решена правильно за время, не превышающее t , и определяется целью функционирования системы. В том случае, когда задача должна быть решена не только правильно, но и своевременно (не позднее некоторого времени t_g , определяемого нормативными документами или условиями деятельности), выражение для $G(t)$ можно записать в виде

$$G(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t \leq t_g; \\ 0, & \text{если } t > t_g. \end{cases} \quad (4)$$

В ряде работ показано, что плотность распределения времени решения задач операторами можно аппроксимировать различными законами: α -распределением, β -распределением, усеченным нормальным, логарифмически нормальным и т. д. [2].

Хорошее совпадение эмпирических распределений с несколькими теоретическими дает основание в качестве аппроксимирующего воспользоваться одним из указанных выше законов, удовлетворяющих требованиям унимодальности и несимметричности [10].

Примем, что функция $\varphi(t)$ описывается усеченным нормальным законом:

$$\varphi(t) = \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}(t - \bar{t}_0)\right\}, \quad (5)$$

где $c = \frac{1}{F_0\left(\frac{t_g - \bar{t}_0}{\sigma}\right) - F_0\left(\frac{t_1 - \bar{t}_0}{\sigma}\right)}$ – нормирующий множитель; $F_0(\dots)$ – функция Лапласа; t_0 – среднее время решения задач управления оператором.

Тогда выражение (1) с учетом формул (3), (4) и (5) примет вид

$$\text{где } C^* = \frac{\exp\left\{\frac{t_1 - \bar{t}_0}{\sigma} + 0,5\right\}}{F_0\left(\frac{t_g - \bar{t}_0}{\sigma}\right) - F_0\left(\frac{t_1 - \bar{t}_0}{\sigma}\right)} - \text{нормирующий множитель.}$$

Выражение (7) является вероятностью своевременного и безошибочного решения задачи управления оператором за время t_g .

Для удобства и простоты определения количественного значения показателя эффективности деятельности оператора разработана номограмма, методика построения которой базируется на представлении исходного функционала в виде канонического [8].

С помощью номограммы, зная временные характеристики решения задач, а именно среднее время решения задач t_0 , среднее квадратическое отклонение времени решения задач σ , минимально (t_1) и максимально (t_g) допустимые времена решения задач, можно определить значение показателя эффективности W .

Номограмма содержит шкалы Q_1, Q_2, W . На шкале Q_1 откладывается значение $Q_1 = F_0\left(\frac{t_g - \bar{t}_0}{\sigma}\right) - F_0\left(\frac{t_1 - \bar{t}_0}{\sigma}\right)$, на шкале

$$Q_2 \text{ — значение } Q_2 = F_0\left(\frac{t_g - \bar{t}_0}{\sigma} + 1\right) - F_0\left(\frac{t_1 - \bar{t}_0}{\sigma} + 1\right).$$

Зная временные характеристики решения задач операторами, по таблицам для функции Лапласа рассчитывают значения Q_1 и Q_2 . Соединив прямой линией точки на осях Q_1 и Q_2 , соответствующие полученным с помощью таблиц значениям, на оси W получают значение показателя эффективности деятельности оператора.

Предлагаемый метод определения показателя качества деятельности операторов ЧМС относится к расчетно-аналитическим методам. Они достаточно широко применяются для получения ориентировочных оценок качества деятельности операторов, особенно на ранних этапах проектирования.

Для получения более точных оценок качества деятельности операторов с уче-

том условий конкретной деятельности и особенно для оценки качества групповой деятельности применяются методы статистического моделирования. Это связано в первую очередь со сложностью получения аналитических выражений для зависимостей показателей качества деятельности операторов от ряда инженерно-психологических факторов. Для групповой же деятельности получение подобных аналитических зависимостей, как правило, встречает значительные трудности [4].

Статистическое моделирование позволяет имитировать процессы деятельности, практически не ограничивая объем учитываемых факторов и не требуя представления исследуемых зависимостей в явном виде относительно искомой переменной. Недостатки этих методов связаны с необходимостью введения ряда допущений при формализации закономерностей исследуемых процессов и некоторого абстрагирования от психологической сущности воспроизводимых явлений. Но, несмотря на эти недостатки, положительные стороны методов статистического моделирования - универсальность и достаточно высокая точность - делают их одними из основных методов оценки показателей качества деятельности операторов.

В качестве примера рассмотрим статистическую модель для оценки качества деятельности группы операторов по показателю вероятности своевременного и безошибочного решения задач управления. Так как метод статистического моделирования представляет собой прямой метод расчета вероятностных характеристик исследуемой системы, искомую вероятность в модели определяют как [5]

$$P = \frac{N_{\text{реш}}}{N_{\text{осм}}},$$

где $N_{\text{реш}}$ - число решенных задач всех типов; $N_{\text{осм}}$ - общее число задач, поступивших для решения.

При моделировании приняты следующие допущения:

- процесс решения операторами задач управления может быть описан в понятиях системы массового обслуживания;

- задачи, решаемые операторами, подразделяют на особо важные, важные и простые и в зависимости от их важности устанавливают очередность их решения (задачи с более высоким приоритетом поступают на решение операторам, прерывая решения задач с более низким приоритетом).

Для работы модели необходимы следующие исходные данные:

- закон распределения моментов поступления задач различного характера;

- закон распределения времени существования задач (законы распределения определяются путем анализа типового варианта функционирования ЧМС);

- количество и вид операций, составляющих каждую задачу;

- перечень и последовательность элементарных действий оператора, составляющих

каждую операцию (на основе анализа эксплуатационной документации или составления профессиограмм деятельности операторов);

- качество выполнения каждого элементарного действия (среднее время выполнения, среднее квадратическое отклонение времени выполнения, вероятность выполнения - эти данные получают из справочников и специальной литературы по эргономике, а при необходимости - путем проведения специальных экспериментов);

- перечень задач, в решении которых может принимать участие каждый оператор;

- ограничения на характер взаимодействия операторов.

Структура модели приведена на рисунке.

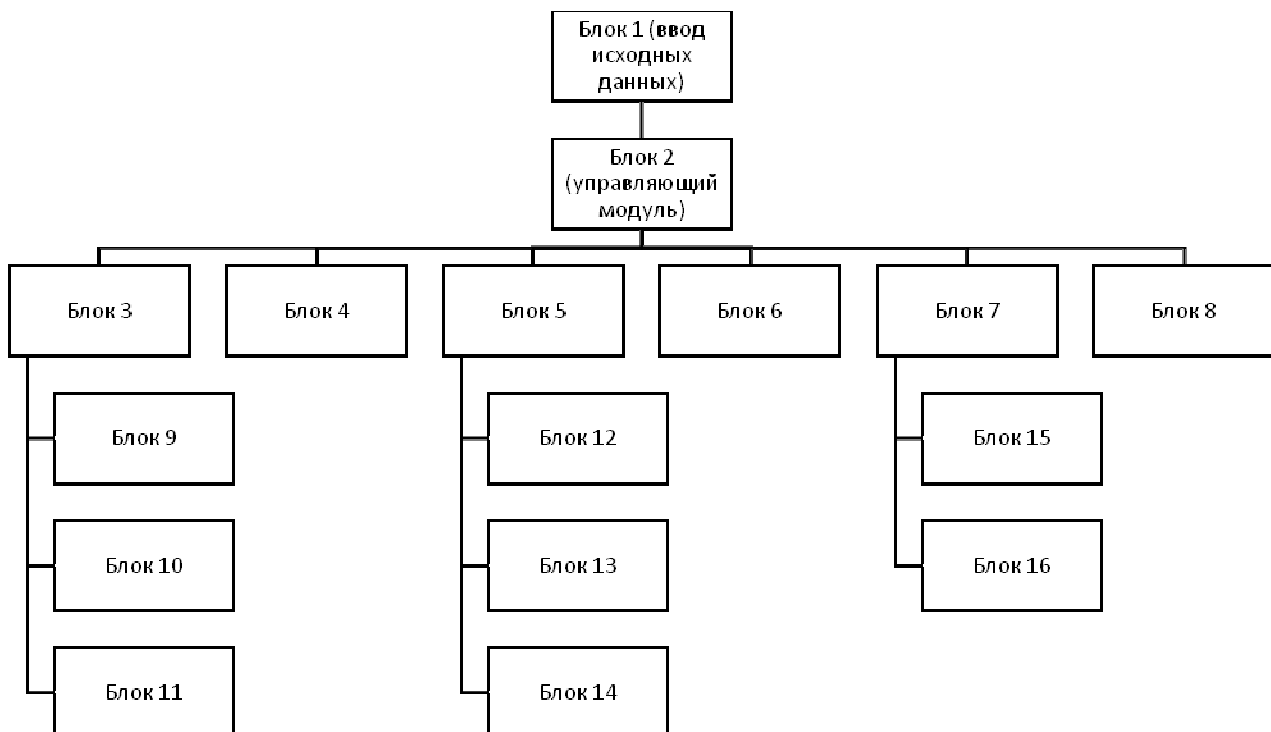


Рис. Структура модели оценки качества групповой деятельности операторов

Блоки модели выполняют следующие функции [3]:

Блок 1. Перед работой модели вводит исходные данные о работе группы опера-

торов, характеристики задач, на основании которых формирует внутренние информационные массивы и определяет конфигурацию модели.

Блок 2. На основании анализа событий, происходящих внутри составляющих блоков, управляет динамикой процесса, подключает к работе блоки с ближайшими по времени событиями, произошедшими в системе. Подключенный блок переводит систему в состояния, соответствующие данному моменту, определяет момент ближайшего очередного события внутри блока, формирует сопровождающий паспорт.

Блок 3. В начале работы модели вычисляются моменты поступления в систему первых задач каждого типа, допустимое время существования задач, номер типа задачи, входящей в систему первой. В любом случае, когда блок подключен к модели, это означает, что возникла необходимость решения задачи. Задачу необходимо передать оператору или группе операторов, рекомендованных для решения задач этого типа. Если оператор занят, то задача встает в очередь на решение. В конце работы блок определяет момент поступления следующей задачи этого типа, момент окончания допустимого времени пребывания задачи в системе, ближайший момент поступления задачи любого типа.

Блоки 9, 10, 11 определяют моменты поступления задач в систему для потоков Пуассона, Эрланга и регулярного соответственно.

Блок 4. В начале процесса определяет моменты смены интервала постоянной плотности потока задач у задач каждого типа, находит ближайший момент и сообщает о нем в блок 2, производит смену величины плотности потока задач данного типа, определяет следующий момент смены в системе и сообщает об этом в блок 2.

Блок 5. Определяет время работы оператора по поступившей задаче, формирует паспорт оператора, определяет моменты освобождения от работы каждого оператора и сообщает о ближайшем из этих моментов в блок 2.

Блоки 12, 13, 14 моделируют различные способы решения задач: одноканальный, многоканальный, параллельный.

Блок 6. Определяет задачи, у которых кончилось время существования, убирает

их из очереди и корректирует соответствующие счетчики.

Блок 7. Подключается к работе модели блоком 2 в момент окончания работы оператора над очередной задачей.

Блок определяет, кто из операторов закончил работу, какая часть задачи и насколько успешно решена. Блок также проверяет, насколько полно решена задача и есть ли необходимость передавать ее другим операторам. Если такая необходимость есть, то к работе модели подключается блок 15.

Он анализирует способ решения задачи, корректирует временные счетчики, определяет оператора-приемника и передает ему задачу. При полном успешном решении задача покидает систему и корректируются соответствующие счетчики. Для оператора, освободившегося от работы, выбирается очередная задача (при наличии очереди). Выбор задачи осуществляет блок 16, который определяет и время, необходимое для решения выбранной задачи. Если это время превышает допустимое время пребывания задачи в системе, то для решения будет выбрана другая задача.

Блок 8. Подключается к работе в конце процесса моделирования. Он сбрасывает все счетчики, организованные в системе, и выдает на печать следующую информацию:

- количество решенных задач по каждому типу (N_i);
- количество пропущенных задач каждого типа (M_i);
- среднее время решения задач каждого типа (\bar{t}_i^*);
- временную загрузку каждого оператора (τ_p);
- время пребывания задач в очереди к каждому оператору в различных состояниях.

На основании полученных данных определяется вероятность правильного и своевременного решения задачи каждого типа:

$$P_i = \frac{N_i}{N_i + M_i}, \quad i = \overline{1, R}, \quad (8)$$

где R – число типов задач, решаемых коллективом операторов.

В соответствии с принятым распределением задач по важности каждой i -й задаче присваивается одна из степеней важности и коэффициент α_i , учитывающий эту важность:

$$\sum_{i=1}^R \alpha_i = 1.$$

Тогда вероятность правильного и своевременного решения коллективом операторов всего комплекса задач управления с учетом их важности определяется как

$$P = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \alpha_i P_i. \quad (9)$$

Детальные данные моделирования используются для анализа структуры взаимодействия операторов в группе и разработки предложений по ее совершенствованию [6].

Получаемые на модели оценки показателей качества деятельности операторов можно уточнять, используя всевозможные процедуры, повышающие эффективность методов статистического моделирования. В этой связи обращают на себя внимание комбинированные методы получения статистических оценок. Основной идеей комбинированного метода оценки статистических характеристик является одновременное рассмотрение исходной исследуемой системы и упрощенной, которая представляет собой некоторую модель исследуемой системы и позволяет осуществлять точное определение ее характеристик. При этом понятие упрощенной системы является более широким, чем обычно понимаемое. Если в обычном смысле под упрощенной понимают такую систему, процессы в которой достаточно близки к процессам исходной системы, то в данном случае требуется только лишь достаточная коррелированность процессов в этих системах. Такое понимание упрощенной системы позволяет использовать способы ее построения, отличающиеся от обычных. Одним из важных обстоятельств, расширяющих понятие упрощенной системы, является то, что в исходной и упрощенной системах в общем случае могут рассматриваться разные вероятностные характеристики, соответствующие различным физическим про-

цессам, и число их для обеих систем может быть различным. В связи с этим упрощенную систему можно строить из отдельных типовых элементарных систем, либо легко поддающихся аналитическому исследованию, либо не требующих большого объема вычислений при проведении статистических испытаний. В этом случае, если упрощенная система состоит из m элементарных систем, имеющих вероятностные характеристики S_1, S_2, \dots, S_m , оценка характеристики исследуемой системы определяется по формуле

$$\hat{r} = r^* - \sum_{i=1}^m \frac{K_{RS}^*}{K_{SS}^*} (S_i^* - S_i). \quad (10)$$

Здесь m – количество элементарных систем; r^* – статистическое значение характеристики исследуемой системы, полученное в результате моделирования; S_i^* – статистическое значение характеристики упрощенной системы, полученное в результате моделирования; S_i – точное значение характеристики упрощенной системы;

$$K_{RS}^* = \frac{1}{\Theta} \sum_{j=1}^{\Theta} (S_j - S^*)(R_j - r^*),$$

где Θ – количество испытаний (экспериментов) на модели; S_j – значение характеристики упрощенной системы в j -м испытании; R_j – значение характеристики исходной системы в j -м испытании;

$$K_{SS} = \frac{1}{\Theta} \sum_{j=1}^{\Theta} (S_j - S^*)^2.$$

Рассмотрим применение данного метода для оценки качества деятельности группы операторов по результатам использования модели, описанной выше.

В модели в качестве исходных данных используются временные характеристики операторов при решении задач управления \bar{t}_i . Связь выходного показателя P с параметрами \bar{t}_i очевидна: чем меньше величина \bar{t}_i , тем выше P . Если по результатам моделирования величина \bar{t}_i^* ,

равная $\bar{t}_i^* = \frac{1}{\Theta} \sum_{j=1}^{\Theta} t_{i,j}$, будет превышать \bar{t}_i , то значение показателя P будет занижен-

ным; наоборот, при $\bar{t}_i^* < \bar{t}_i$ значение показателя P будет завышенным.

Так как $M[t_{i,j}] = t_i$, т.е.

$\bar{t}_i^* \rightarrow \bar{t}_i$ при $\Theta \rightarrow \infty$, то при ограниченном количестве экспериментов целесообразно использовать оценку P в виде

$$\hat{P} = P^* - \sum_{i=1}^R \frac{K_{t_{ip}}^*}{D_{t_i}^*} (\bar{t}_i^* - \bar{t}_i), \quad (11)$$

где R – количество задач управления;

$$K_{t_{ip}}^* = \frac{1}{\Theta} \sum_{j=1}^{\Theta} (t_{ij}^* - \bar{t}_i)(P_j - P^*); \quad (12)$$

$$D_{t_i}^* = \frac{1}{\Theta} \sum_{j=1}^{\Theta} (t_{ij}^* - \bar{t}_i)^2. \quad (13)$$

Очевидно, что для получения оценки (11) необходимо запоминать дополнительную информацию, объем которой определяется количеством элементарных систем, входящих в состав упрощенной системы R , и количеством проводимых экспериментов Θ . Вся необходимая информация может быть записана в виде вектор-строки $\|\Delta P_{ij}\| = \|P_1^* - P^*, P_2^* - P^*, \dots, P_{\Theta}^* - P^*\|$ и матрицы размером $R \times \Theta$, элементами которой являются значения $\Delta t_{ij} = t_{ij}^* - \bar{t}_i$:

$$\|\Delta t_{ij}\| = \begin{bmatrix} \Delta t_{11} & \Delta t_{12} & \dots & \Delta t_{1\Theta} \\ \Delta t_{21} & \Delta t_{22} & \dots & \Delta t_{2\Theta} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta t_{R1} & \Delta t_{R2} & \dots & \Delta t_{R\Theta} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

где \bar{t}_i^* – время выполнения i -й задачи в j -м эксперименте.

Тогда значения требуемых величин можно рассчитать в соответствии со следующими выражениями:

$$\bar{t}_i^* - \bar{t}_i = \frac{1}{\Theta} \sum_{j=1}^{\Theta} \Delta t_{ij};$$

$$K_{t_{ip}}^* = \frac{1}{\Theta} \|\Delta t_{ij}\| \times \|\Delta P_j\|^T;$$

$$D_{t_i}^* = \frac{1}{\Theta} \|\Delta t_{ij}^c\| \times \|\Delta t_{ij}^c\|^T;$$

$$D_p^* = \frac{1}{\Theta} \|\Delta P_j\| \times \|\Delta P_j\|^T.$$

Уменьшения размерности матрицы $\|\Delta t_{ij}\|$ можно достичь за счет уменьшения числа элементарных систем R и сокраще-

ния Θ путем использования многоэтапной процедуры получения оценки.

Так как предлагаемый метод не предполагает обязательного использования всех составляющих, входящих в упрощенную систему, для сокращения размерности матрицы $\|\Delta t_{ij}\|$ количество элементарных систем целесообразно выбирать не более 10. В рассматриваемом случае из числа задач, решаемых операторами, в состав R^* выбирают те, которые имеют наибольшую частоту возникновения.

Количество этапов K процедуры получения оценки определяется отношением числа экспериментов Θ , обеспечивающего необходимую точность оценки, и числа Θ_p экспериментов, проводимых на каждом этапе, которое обеспечивает допустимую размерность матрицы $\|\Delta t_{ij}\|$. Практически $\Theta_p = [10, 20]$. Величина P^* рассчитывается по результатам K этапов экспериментов по формуле

$$P^* = \frac{1}{K} \sum_{q=1}^k \left(\frac{1}{\Theta_p} \sum_{j=(q-1)\Theta_p+1}^{q\Theta_p} P_j^* \right), \text{ где}$$

$$K = \frac{\Theta}{\Theta_p}. \quad (15)$$

Величину Θ определяют следующим образом. Вначале рассчитывают необходимое количество экспериментов Θ_0 для обеспечения заданной надежности оценки искомой характеристики, получаемой традиционным методом статистических испытаний. Проводятся первые Θ_p экспериментов, по результатам которых определяют значение коэффициента корреляции $K = k_{t_{ip}}^* (D_{t_i}^* D_p^*)^{-\frac{1}{2}}$. Значение Θ вычисляют по формуле

$$\Theta = \Theta_0 (1 - K^2).$$

Выигрыш в количестве экспериментов определяется величиной ξ , равной

$$\xi = \frac{\Theta_0}{\Theta} = \frac{1}{1 - K^2}.$$

Наибольший выигрыш получается при $K > 0,7$, поэтому целесообразность применения предложенной процедуры в основном определяется правильностью выбора или построения упрощенной системы. В том случае, когда упрощенная

система состоит из элементарных систем, являющихся частями исходной системы, характеристики исходной и упрощенной коррелированы достаточно сильно и значение K , как правило, существенно превышает величину, равную 0,7.

Как показано в исследовании [2], выигрыш в количестве экспериментов равен выигрышу в точности η .

Если K определить как отношение $K = \frac{\Theta_0}{\Theta_p}$, то увеличение количества

экспериментов (до Θ_0) даст выигрыш в точности оценки P^* , равной $\eta = (1 - K^2)^{-1}$, по сравнению с точностью традиционного метода статистического моделирования для Θ_0 экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверченков, В.И. Математическое моделирование процесса тестирования с использованием шкалы цветовых предпочтений / В.И.Аверченков, С.В.Кондратенко, В.В.Спасенников // Информационные системы и технологии. - 2016. - № 2 (94). - С. 5-13.
2. Герасимов, Б.М. Имитационная модель для оценки комплексного влияния инженерно-психологических факторов на эффективность эргатической системы / Б.М.Герасимов, Г.В.Ложкин, С.В.Скрыль, В.В.Спасенников // Кибернетика и вычислительная техника. - 1984. - № 61. - С. 88-93.
3. Евенко, В.В. Многокритериальная модель оценки интеллектуального капитала будущих специалистов для промышленных предприятий / В.В.Евенко, А.Г.Подвесовский, Н.М.Белеванцева, В.В.Спасенников // Социология образования. - 2013. - № 1. - С. 36-43.
4. Евенко, В.В. Изобретательская активность в инновационной деятельности: сравнительный анализ динамики патентования в условиях социально-экономических изменений / В.В.Евенко, М.М.Середа, В.В.Спасенников // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2013. - № 3 (39). - С. 167-171.
5. Евенко, В.В. Проблемы оценивания интеллектуального потенциала и интеллектуального капитала инженерно-технических работников / В.В.Евенко, М.М.Новиков, В.В.Спасенников //

Необходимость применения специальных процедур для повышения точности оценок обусловлена недостатками методов статистического моделирования, перечисленными выше.

Свободными от этих недостатков являются методы полунатурного и натурального моделирования процессов функционирования систем, когда оценка качества деятельности проводится в условиях адекватной реальной деятельности. Для проведения такой оценки в состав натуральных и полунатурных моделей могут входить специальные устройства, позволяющие по результатам деятельности операторов осуществлять расчет тех или иных показателей, характеризующих качество этой деятельности.

1. Менеджмент в России и за рубежом. - 2014. - № 5. - С. 117-127.
6. Кондратенко, С.В. Методы анализа и моделирования деятельности операторов в процессе эргономического обеспечения эксплуатации человеко-машинных комплексов разработки / С.В.Кондратенко, В.В.Спасенников // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2015. - № 1 (45). - С. 87-94.
7. Попков, В.И. Модель взаимодействия вузов и машиностроительных предприятий в интересах их инновационного развития / В.И.Попков, В.В.Спасенников // Социология образования. - 2015. - № 3. - С. 36-45.
8. Спасенников, В.В. Концептуальный подход к процессу обоснования структуры института экономической психологии и эргономики в техническом вузе / В.В.Спасенников // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. - 2013. - № 3. - С. 87-93.
9. Averchenkov, V.I. Formation of the color palette for content based image retrieval automated systems / V.I.Averchenkov, V.K.Gulakov, V.V.Mirochnikov, I.A.Potapov, V.V.Spasennikov, A.O.Trubakov // World applied sciences journal. - 2013. - № 24. - С. 1-6.
10. Korostelev, D.A. Mathematical and computer modeling of erosive wear of rotor blades of wet steam turbines / D.A.Korostelev, K.V.Dergachev. - Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2016. - 196 p.

1. Averchenkov, V.I. Mathematical modeling of testing process using colour preference scale / V.I. Averchenkov, S.V. Kondratenko, V.V. Spasennikov // *Information Systems and Technologies*. - 2016. - № 2 (94). - pp. 5-13.

2. Gerasimov, B.M. Simulation model for assessment of complex impact of engineering-psychological factors upon ergodic system efficiency / B.M.Gerasimov, G.V.LoZhkin, S.V.Skryl,

- V.V.Spasennikov // *Cybernetics and Computer Equipment*. - 1984. - № 61. - pp. 88-93.
3. Yevenko, V.V. Multi-criterion model of assessment of intelligent capital of future specialists for industrial plants / V.V.Yevenko, A.G.Podvesovsky, N.M.Belevantseva, V.V.Spasennikov // *Education Sociology*. - 2013. - № 1. - pp. 36-43.
 4. Yevenko, V.V. Invention actions in innovation activity: comparative analysis of patenting dynamics under conditions of social-economic changes / V.V.Yevenko, M.M.Sereda, V.V. Spasennikov // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. - 2013. - № 3 (39). - pp. 167-171.
 5. Yevenko, V.V. Problems in assessment of intelligent potential and intelligent capital of engineering workers / V.V.Yevenko, M.M.Novikov, V.V. Spasennikov // *Management in Russia and Abroad*. - 2014. - № 5. - pp. 117-127.
 6. Kondratenko, S.V. Methods for analysis and modeling of operator activity during ergonomic support of operation of man-machine complex development / S.V.Kondratenko, V.V.Spasennikov // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. - 2015. - № 1 (45). - pp. 87-94.
 7. Popkov, V.I. Model of college and engineering plants interaction in interests of their innovation development / V.I.Popkov, V.V.Spasennikov // *Education Sociology*. - 2015. - № 3. - pp. 36-45.
 8. Spasennikov, V.V. Conceptual approach to process of structure substantiation for institute of economic psychology and ergonomics in engineering college / V.V.Spasennikov // *Human Factor: Problems of Psychology and Ergonomics*. - 2013. - № 3. - pp. 87-93.
 9. Averchenkov, V.I. Formation of the color palette for content based image retrieval automated systems / V.I.Averchenkov, V.K.Gulakov, V.V.Mirochnikov, I.A.Potapov, V.V.Spasennikov, A.O.Trubakov // *World applied sciences journal*. - 2013. - № 24. - С. 1-6.
 10. Korostelev, D.A. Mathematical and computer modeling of erosive wear of rotor blades of wet steam turbines / D.A.Korostelev, K.V.Dergachev. - Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2016. - 196 p.

Статья поступила в редколлегию 7.12.2016.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
Аверченков В.И.

Сведения об авторах:

Кондратенко Сергей Викторович, аспирант Брянского государственного технического университета, тел.: +7 (4832) 58-82-80, e-mail: sergejkonet@mail.ru.

Спасеников Валерий Валентинович, д.психол.н., профессор Брянского государственного

Kondratenko Sergey Victorovich, Post graduate student, Bryansk State Technical University, Phone: +7 (4832) 58-82-80, e-mail: sergejkonet@mail.ru.

Spasennikov Valery Valentinovich, D. Psychol., Prof., Bryansk State Technical University, Phone: +7 (4832) 58-82-80, e-mail: spas1956@mail.ru.

технического университета, тел.: +7 (4832) 58-82-80, e-mail: spas1956@mail.ru.

Кузьменко Александр Анатольевич, к.биол.н., доцент Брянского государственного технического университета, тел.: +7 (4832) 58-82-80, e-mail: sergejkonet@mail.ru.

Kuzmenko Alexander Anatolievich, Can. Biolog., Assistant Prof., Bryansk State Technical University, Phone: +7 (4832) 58-82-80, e-mail: sergejkonet@mail.ru.