

УДК 159.9 (303.732)

Н. А. Назаренко

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Методика оценки уровня эргономичности автоматизированных систем управления производством

Представлены детализированные модели эргономического качества автоматизированных систем управления производством (АСУП). Особенностью разработанных моделей является то, что они учитывают только факторы, непосредственно влияющие на эффективность деятельности операторов АСУП. Модели представлены как в графическом виде, так и с помощью кортежей. На основе данных моделей разработана методика оценки уровня эргономичности, которая может являться методологическим базисом при проведении эргономической экспертизы подобных систем на всех стадиях жизненного цикла опытно-конструкторских разработок. Особенность представленной методики в том, что она учитывает как возможность неравнозначного влияния отдельных групп факторов на эргономическое качество АСУП, так и проведение нескольких проверок для оценки той или иной конкретной эргономической характеристики. Это позволяет получить оценку уровня эргономичности с требуемой точностью. Также даны рекомендации по использованию результатов, полученных в ходе оценки.

Эргономическая экспертиза, оценка уровня эргономичности, информационные системы повышенной ответственности, информационная поддержка разработчиков, человеко-машинная система, АСУП

Для качественного проектирования автоматизированных систем управления производством, которые не только обеспечивали бы использование технических и программных средств, но и учитывали потенциальные возможности человека-оператора для обеспечения высокой безошибочности и быстродействия всей системы, необходимо понимать, какие факторы влияют на эргономическое качество АСУП.

Исходя из анализа разработки современных АСУП, являющихся подклассом человеко-машинных систем (ЧМС), а также основываясь на практическом опыте проведения эргономических экспертиз ЧМС [1]–[5], была разработана модель эргономического качества АСУП (Q_E) (рис. 1).

На эргономическое качество АСУП оказывают влияние четыре группы факторов:

- 1) факторы информационной части;
- 2) факторы физической части;

3) факторы человеческого фактора;

4) факторы окружающей среды.

Таким образом, иерархическая модель эргономического качества АСУП может быть описана следующим кортежем:

$$\langle \{U\}, \{F\}, \{H\}, \{E\} \rangle,$$

где $\{U\} = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ – совокупность факторов информационной части; $\{F\} = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ – совокупность факторов физической части; $\{H\} = \{h_1, h_2, \dots, h_k\}$ – совокупность факторов человеческого фактора; $\{E\} = \{e_1, e_2, \dots, e_l\}$ – совокупность факторов окружающей среды.

Так как в каждом отдельном случае каждая группа факторов оказывает свое влияние на эргономическое качество АСУП, то уровень эргономичности определяется по формуле



Рис. 1

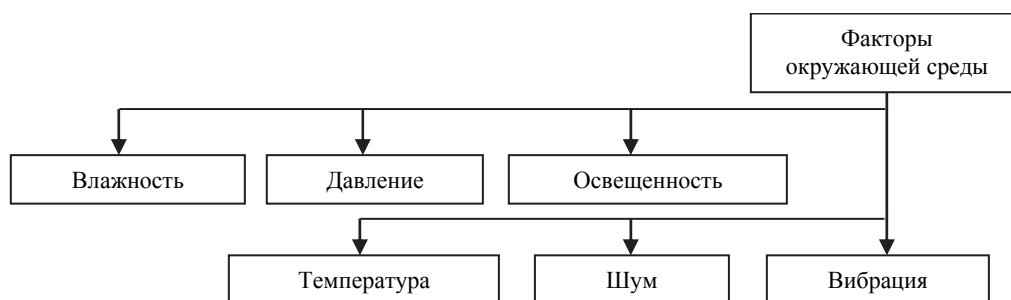


Рис. 2

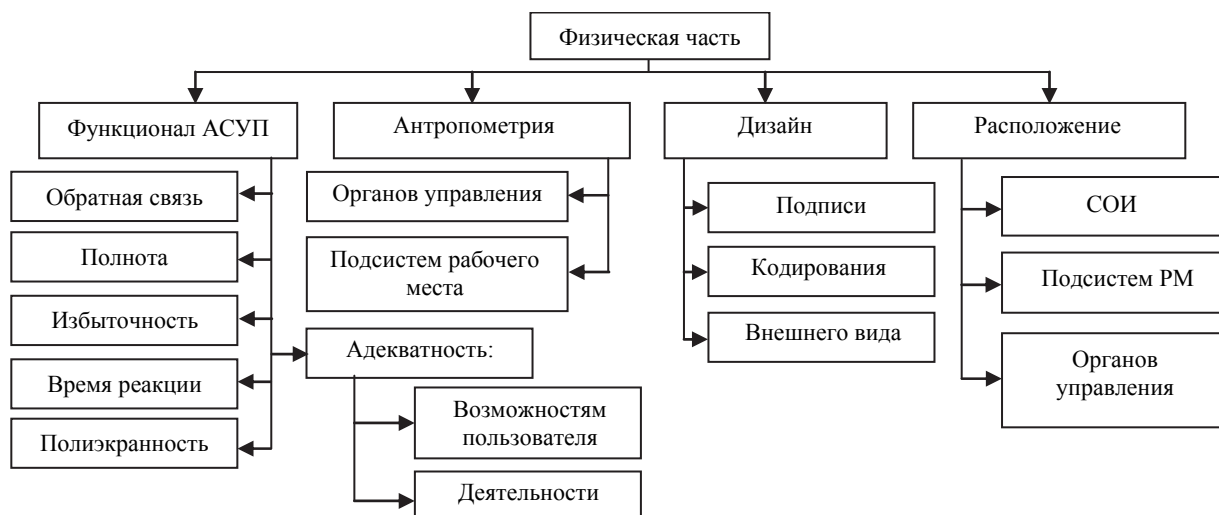


Рис. 3

$$Q_E = W_U K_U + W_F K_F + W_H K_H + W_E K_E,$$

где K_U – уровень эргономичности информационной части; K_F – уровень эргономичности физической части; K_H – уровень эргономичности человеческого фактора; K_E – уровень эргономичности окружающей среды (обитаемости); W_U – коэффициент значимости факторов информационной части; W_F – коэффициент значимости факторов физической части; W_H – коэффициент значимости человеческого фактора; W_E – коэффициент значимости факторов окружающей среды (обитаемости).

При этом следует учесть, что

$$\sum_{i=1}^4 W_i = 1.$$

Коэффициенты значимости отдельных составляющих определяются рабочей группой, проводящей эргономическую экспертизу, исходя из целей и назначения АСУП.

Системный (функциональный, структурный и эволюционный) анализ позволяет конкретизировать

содержание всех компонентов представленной модели. Рассмотрим их содержание более подробно.

Совокупность факторов окружающей среды, непосредственно влияющих на качество функционирования АСУП, представлена на рис. 2.

Она может быть описана следующим множеством:

$$\{E\} = \{RH, p, E_v, t, L_A, O\},$$

где RH – относительная влажность воздуха; p – давление; E_v – освещенность рабочего места; t – температура; L_A – шум; O – вибрация.

Данная совокупность факторов полностью описывает микроклимат и условия, в которых используется АСУП с точки зрения их влияния на эффективность работы всей системы.

Совокупность факторов физической части, непосредственно влияющих на качество функционирования АСУП, представлены на рис. 3.

Она может быть описана следующим множеством:

$$\{F\} = \{\{F_S\}, \{A\}, \{D\}, \{L\}\},$$

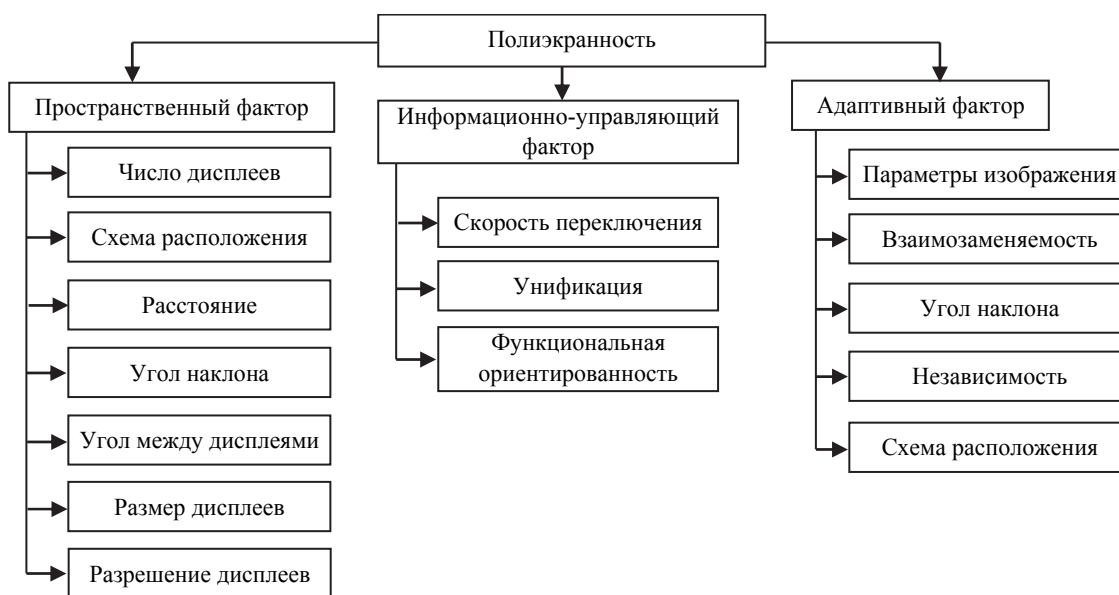


Рис. 4

где $\{F_S\} = \{F_b, C_S, R, t_R, \{M_S\}, \{A_y\}\}$ – множество параметров, описывающих качество функционала АСУП (органов управления, индикаторов, различных подсистем, используемого оборудования и т. д.): F_b – коэффициент качества обратной связи; C_S – коэффициент полноты функционала системы; R – коэффициент избыточности функционала системы; t_R – коэффициент качества отклика системы на действия оператора (время реакции); $\{M_S\}$ – множество параметров, описывающих качество использования в АСУП нескольких систем отображения информации (СОИ) (рис. 4); $\{A_y\} = \{A_{CU}, A_A\}$ – множество параметров, описывающих адекватность физической части АСУП возможностям пользователя (A_{CU}) и профессиональной деятельности (A_A); $\{D\} = \{\{D_S\}, \{D_C\}, \{D_A\}\}$ – множество параметров, описывающих дизайн (облик) физических компонентов АСУП (рис. 5); $\{A\} = \{\{A_C\}, \{A_{SW}\}\}$ – множество параметров, описывающих качество антропометрических характеристик органов управления ($\{A_C\}$) и подсистем рабочего места ($\{A_{SW}\}$) (рис. 6); $\{L\} = \{\{L_{DS}\}, \{L_{SW}\}, \{L_C\}\}$ – множество параметров, описывающих расположение компонентов АСУП: $\{L_{DS}\}$ – множество параметров, описывающих качество расположения СОИ; $\{L_{SW}\}$ – множество параметров, описывающих качество расположения подсистем рабочего места; $\{L_C\}$ – множество параметров, описывающих качество расположения органов управления.

Совокупность факторов, влияющих на качество использования в АСУП нескольких СОИ, может быть описана следующим множеством:

$$\{M_S\} = \{\{S_f\}, \{I_f\}, \{A_f\}\},$$

где $\{S_f\} = \{N, L_m, d, T_a, A_d, s, r\}$ – множество параметров, описывающих эргономическое качество физических параметров СОИ: N – количество используемых дисплеев; L_m – схема расположения дисплеев; d – расстояние между дисплеями и оператором; T_a – угол наклона дисплеев; A_d – угол между дисплеями; s – размер дисплеев; r – разрешение дисплеев; $\{I_f\} = \{S_s, U, F_o\}$ – множество параметров, описывающих эргономическое качество информационно-управляющего фактора: S_s – скорость переключения между дисплеями; U – унификация; F_o – функциональная ориентированность; $\{A_f\} = \{A_{IP}, A_{Int}, A_{TA}, A_{Ind}, A_{LP}\}$ – множество параметров, описывающих эргономическое качество возможности адаптации СОИ под оператора или необходимых условий: A_{IP} – параметры изображения; A_{Int} – взаимозаменяемость; A_{TA} – угол наклона; A_{Ind} – независимость; A_{LP} – схема расположения.

Совокупность факторов, влияющих на качество дизайна, может быть описана следующим множеством:

$$\{D\} = \{\{D_S\}, \{D_C\}, \{D_A\}\},$$

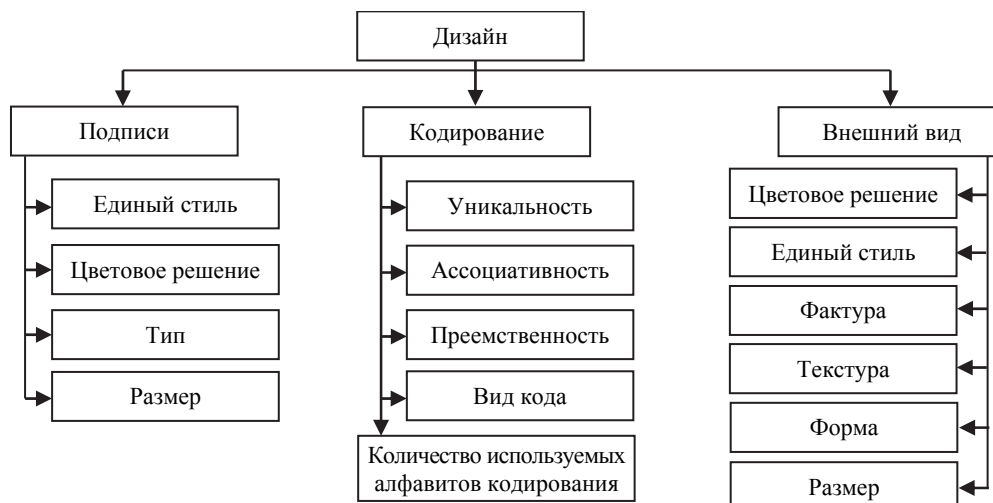


Рис. 5

где $\{D_S\} = \{U_S, C_S, Q_{ST}, Q_S\}$ – множество параметров, описывающих качество представления подписей к физическим элементам АСУП: U_S – коэффициент качества унификации (единого стиля) подписей к физическим элементам АСУП; C_S – коэффициент качества выбранного цветового решения подписей к физическим элементам АСУП; Q_{ST} – коэффициент качества выбранного типа шрифта подписей к физическим элементам АСУП; Q_S – коэффициент качества выбранного размера подписей к физическим элементам АСУП; $\{D_C\} = \{U_C, A_C, C_C, C_T, N_C\}$ – множество параметров, описывающих качество кодирования информации, представляемой физическими элементами АСУП: U_C – коэффициент качества уникальности используемых кодов информации; A_C – коэффициент качества ассоциативности кодирования информации; C_C – коэффициент качества преемственности используемых кодов информации; C_T – коэффициент качества выбранного вида кодирования информации; N_C – коэффициент качества выбранного количества используемых алфавитов кодирования; $\{D_A\} = \{Q_{CS}, Q_F, U_D, Q_T, Q_{Sh}, Q_{SD}\}$ – множество параметров, описывающих качество внешнего облика физических элементов АСУП: Q_{CS} – коэффициент качества выбранного цветового решения (цветовой гаммы) физических элементов АСУП; Q_F – коэффициент качества восприятия выбранной фактуры для физических элементов АСУП; U_D – коэффициент качества унификации дизайна физических элементов АСУП; Q_T – ко-

эффициент качества восприятия выбранной текстуры для физических элементов АСУП; Q_{Sh} – коэффициент качества восприятия выбранной формы физических элементов АСУП; Q_{SD} – коэффициент качества восприятия выбранного размера физических элементов АСУП.

Совокупность факторов антропометрии может быть описана следующим множеством (рис. 6):

$$\{A\} = \{\{A_C\}, \{A_{SW}\}\},$$

где $\{A_C\} = \{D, h, l, w, r\}$ – множество параметров, влияющих на качество антропометрии органов управления (рычаги, переключатели, кнопки, устройства ввода информации: клавиатуры, микрофоны, манипуляторы и т. п.): D – диаметр органов управления, например, кнопки, трекбола или рукояти; h – высота органов управления; l – длина органов управления; w – ширина органов управления; r – радиус выпуклости (вогнутости) органов управления, например, кнопки, мыши или трекбола; $\{A_{SW}\} = \{\{A_{WZ}\}, \{A_{ACC}\}, \{A_{LSD}\}, \{A_{OE}\}, \{A_{IDS}\}\}$ – множество параметров, описывающих качество антропометрических характеристик подсистем рабочего места: $\{A_{WZ}\}$ – множество параметров, описывающих качество антропометрических характеристик рабочей зоны; $\{A_{ACC}\}$ – множество параметров, описывающих качество антропометрических характеристик кресла оператора АСУП; $\{A_{LSD}\}$ – множество параметров, описывающих качество антропометрических характеристик устройств (системы) жизнеобеспечения; $\{A_{OE}\}$ – множество парамет-

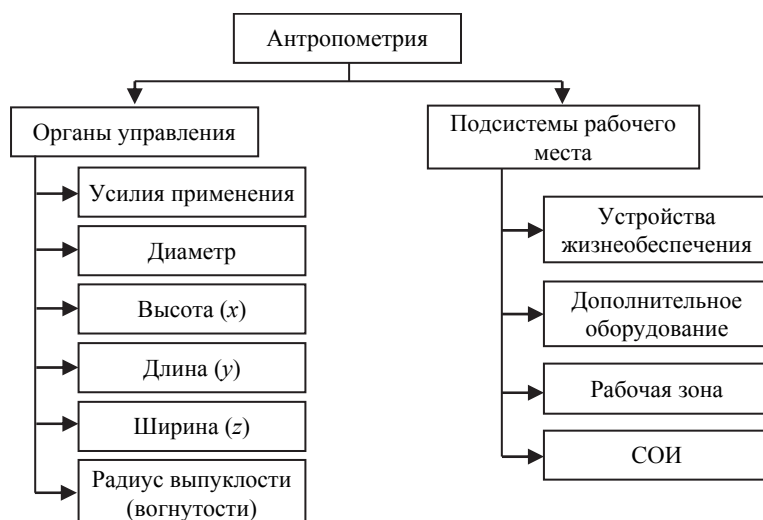


Рис. 6

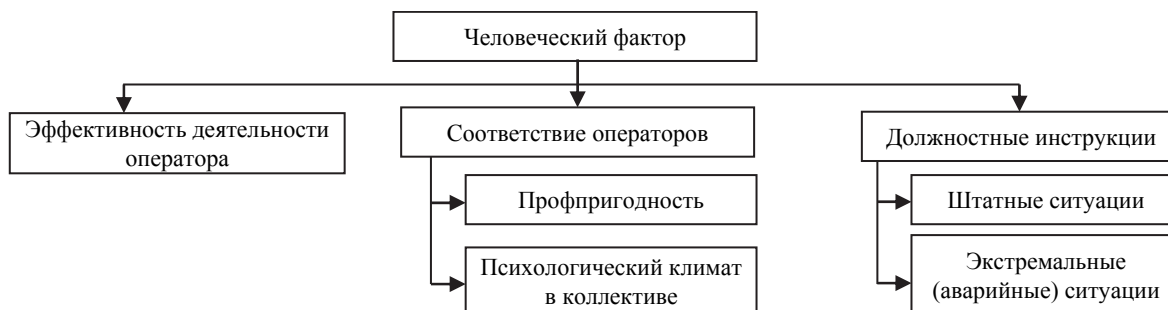


Рис. 7

ров, описывающих качество антропометрических характеристик дополнительного оборудования, используемого на рабочем месте оператором АСУП; $\{A_{IDS}\}$ – множество параметров, описывающих качество антропометрических характеристик системы отображения информации.

Совокупность и взаимосвязь факторов человеческого фактора, непосредственно влияющих на качество функционирования АСУП, представлены на рис. 7.

Совокупность факторов человеческого фактора может быть описана следующим множеством:

$$\{H\} = \{\{E_U\}, \{C_U\}, \{J_D\}\},$$

где $\{E_U\}$ – множество параметров, описывающих эффективность деятельности оператора АСУП; $\{C_U\} = \{Q_P, Q_{PC}\}$ – множество параметров, описывающих уровень соответствия операторов АСУП профессиональной деятельности (профпригодность (Q_P)) и коллективу (Q_{PC}); $\{J_D\} = \{\{Q_{ES}\}, \{Q_{ExS}\}\}$ – множество параметров, описывающих качество должностных инструк-

ций: $\{Q_{ES}\}$ – множество параметров, отражающих качество должностных инструкций, описывающих штатные ситуации; $\{Q_{ExS}\}$ – множество параметров, отражающих качество должностных инструкций, описывающих экстремальные (аварийные) ситуации.

В свою очередь совокупность факторов, описывающих эффективность деятельности оператора АСУП (рис. 8), может быть описана следующим множеством:

$$\{E_U\} = \{\{E_C\}, \{E_{QA}\}, \{E_{PC}\}\},$$

где $\{E_C\}$ – множество параметров, описывающих комфорт оператора при осуществлении своей профессиональной деятельности; $\{E_{QA}\}$ – множество параметров, описывающих качество деятельности оператора; $\{E_{PC}\}$ – множество параметров, описывающих личностные особенности оператора, влияющие на эффективность его деятельности.

Совокупность и взаимосвязь факторов информационной части, непосредственно влияющих на качество функционирования АСУП, представлены на рис. 9.



Рис. 8

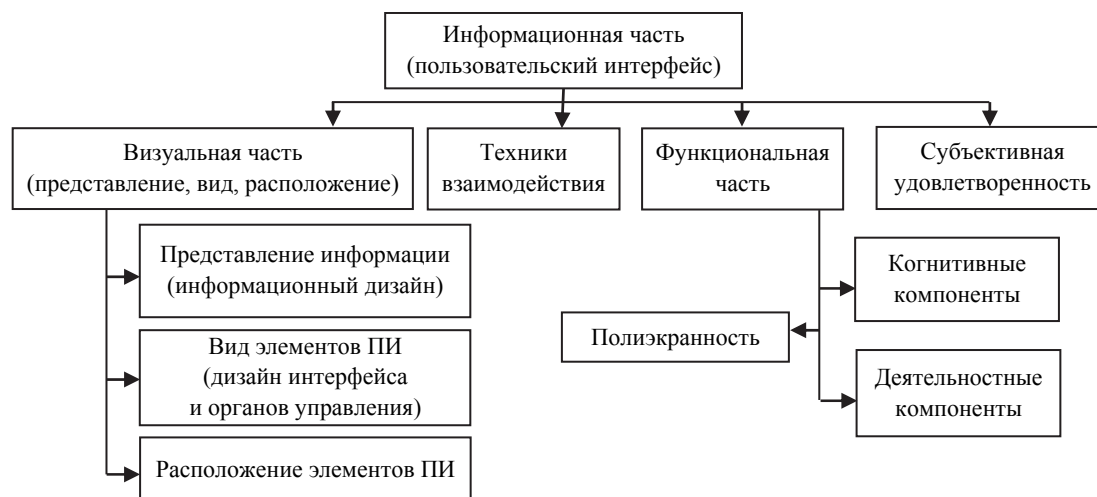


Рис. 9

Таким образом, эргономическое качество пользовательского интерфейса (ПИ) программного обеспечения (ПО) АСУП описывается следующим множеством:

$$\{U\} = \{\{Q_V\}, \{Q_{UI}\}, \{Q_F\}, \{Q_{SS}\}\},$$

где $\{Q_V\} = \{\{Q_{ID}\}, \{Q_{IDC}\}, \{Q_{AE}\}\}$ – множество параметров, описывающих качество визуальной составляющей ПИ: представления информации ($\{Q_{ID}\}$), дизайн интерфейса и органов управления ($\{Q_{IDC}\}$); расположение элементов ПИ ($\{Q_{AE}\}$); $\{Q_{UI}\}$ – множество параметров, описывающих качество техник взаимодействия опера-

тора и ПО; $\{Q_{SS}\}$ – множество параметров, описывающих удовлетворенность оператора программным обеспечением; $\{Q_{IDC}\} = \{\{Q_{SPS}\}, \{Q_{CC}\}, \{Q_{AC}\}\}$ – множество параметров, описывающих качество функционала ПО: $\{Q_{SPS}\}$ – множество параметров, описывающих качество работы ПО на нескольких дисплеях; $\{Q_{CC}\}$ – множество параметров, описывающих качество когнитивных компонентов ПИ; $\{Q_{AC}\}$ – множество параметров, описывающих качество деятельностных компонентов ПИ.

Так как каждая из эргономических характеристик, входящая в представленные модели, оценивается в разных шкалах, то для расчета уровня эргономичности АСУП необходимо привести все оценки к единому виду. Для этого предлагается воспользоваться экспертной оценкой качества выполнения и полноты реализации каждой характеристики. Экспертное оценивание проводится с использованием опросных листов. Типовой опросный лист экспертного оценивания приведен в таблице.

Параметр (характеристика)	Норма	Оценка
Проверяемый показатель (характеристика) 1		
.....		
Проверяемый показатель (характеристика) N		

Все оцениваемые показатели объединяются в группы согласно представленным моделям. Таким образом, каждому j -му показателю (функции) в каждой k -й группе показателей, в каждой l -й проверке каждым i -м экспертом (если оценка требует привлечения экспертов) сопоставляется оценка в пределах от 0 до 1 [6], например:

$$A_{ijkl} = \begin{cases} 1 \\ 0.5, \\ 0 \end{cases}$$

где 1 – показатель полностью соответствует эргономическим требованиям и требованиям нормативных документов; 0.5 – показатель не полностью соответствует либо эргономическим требованиям, либо требованиям нормативных документов; 0 – показатель не соответствует ни эргономическим требованиям, ни требованиям нормативных документов.

Степень реализации отдельного фактора (требования) рассчитывают по формуле

$$P_{jkl} = \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_{ijkl} \right),$$

где m – число экспертов.

Групповой показатель качества оценивается по формуле

$$P_{kl} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{jkl} = \left(\frac{1}{nm} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m A_{ijkl} \right),$$

где n – число показателей (факторов) в данной группе.

Комплексный показатель качества (результат конкретной проверки) оценивается по формуле

$$P_l = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s P_{kl} = \frac{1}{sn} \sum_{k=1}^s \sum_{j=1}^n P_{jkl} = \left(\frac{1}{snm} \sum_{k=1}^s \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m A_{ijkl} \right),$$

где s – число групп факторов, проверяемых в данной проверке.

Интегральный показатель оценивается по формуле

$$P = \frac{1}{r} \sum_{l=1}^r P_l = \frac{1}{rs} \sum_{l=1}^r \sum_{k=1}^s P_{kl} =$$

$$= \frac{1}{rsn} \sum_{l=1}^r \sum_{k=1}^s \sum_{j=1}^n P_{jkl} = \left(\frac{1}{rsnm} \sum_{l=1}^r \sum_{k=1}^s \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m A_{ijkl} \right),$$

где r – число проверок в эргономической экспертизе.

Расчеты всех показателей необходимо проводить с точностью до двух знаков после запятой. По результатам оценки уровня эргономичности принимают решение об общем уровне эргономичности АСУП в соответствии со следующими шкалами:

1. На ранних стадиях разработки АСУП (до создания опытного образца):

– уровень эргономичности не соответствует минимально допустимому при $Q_E \leq 0.67$;

– уровень эргономичности допустим при $0.67 < Q_E \leq 0.85$;

– уровень эргономичности высокий при $0.85 < Q_E \leq 1$.

2. На поздних (заключительных) стадиях разработки АСУП либо при экспертизе действующей системы:

– уровень эргономичности не соответствует минимально допустимому при $Q_E \leq 0.8$;

– уровень эргономичности допустим при $0.8 < Q_E \leq 0.95$;

– уровень эргономичности высокий при $0.95 < Q_E \leq 1$.

Представленный метод позволяет с наименьшими ресурсными затратами и большой степенью объективности рассчитать уровень эргономичности АСУП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эргономическая экспертиза информационных моделей: общий подход, проблемы и задачи / Е. А. Бурков, Н. А. Назаренко, М. Н. Никулин, П. И. Падерно,

О. П. Сопина // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. 2013. № 4. С. 88–91.

2. Построение иерархии частных показателей качества пользовательского интерфейса / Л. В. Агафонова, В. Д. Гусейнов, Н. А. Назаренко, Т. С. Осипова, П. И. Падерно, О. П. Сопина // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. 2013. № 4. С. 91–93.

3. Анохин А. Н., Назаренко Н. А. Проектирование интерфейсов // Биотехносфера. 2010. № 2 (8). С. 21–27.

4. Опыт проведения эргономической экспертизы специализированной человеко-машинной системы / Е. А. Бурков, Н. А. Назаренко, П. И. Падерно, О. П. Со-

пина // Материалы XII Всерос. совещ. по проблемам управления (ВСПУ-2014), Москва, 2014. С. 6362–6371.

5. Назаренко Н. А., Осетров А. В. Особенности эргономической оценки пользовательских интерфейсов // Биотехносфера. 2015. № 1 (37). С. 38–43.

6. Назаренко Н. А., Падерно П. И. Выбор шкал для оценки качественных и количественных показателей при эргономической экспертизе // Актуальные проблемы охраны труда: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2018. 190 с.

N. A. Nazarenko

Saint Petersburg Electrotechnical University

METHODOLOGY FOR ESTIMATING THE LEVEL OF ERGONOMICITY OF AUTOMATED MANUFACTURING MANAGEMENT SYSTEMS

The detailed models of ergonomic quality of automated production control systems (APCS) are presented. A feature of the developed models is that they take into account only the factors that directly affect the efficiency of the operations of automated production control systems. Models are presented both graphically and using tuples. On the basis of these models, a methodology has been developed for assessing the level of ergonomics, which may be the methodological basis for the ergonomic examination of such systems at all stages of the life cycle of experimental development. A feature of the presented technique is that it takes into account both the possibility of unequal influence of certain groups of factors on the ergonomic quality of an APCS, and the conduct of several checks to evaluate a particular ergonomic characteristic. This allows us to obtain an estimate of the level of ergonomics with the required accuracy. Recommendations are also made for using the results obtained during the assessment.

Ergonomic expertise, assessment of the level of ergonomics, information systems of increased responsibility, information support for developers, man-machine system, automated production management system

УДК 004.3

О. И. Буренева, О. А. Жирнова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Многофункциональный бит-поточковый преобразователь

Предлагается оригинальный подход к построению нелинейных бит-поточковых преобразователей, реализующих аппроксимирующие выражения, представленные отношением полиномов. Приведена обобщенная структурная схема устройства, в котором в качестве аргументов могут использоваться потоки широтно-импульсно-модулированных сигналов, а также числоимпульсные потоки. В соответствии с обобщенной схемой разработан многофункциональный нелинейный преобразователь широтно-импульсных сигналов, в котором коэффициенты аппроксимирующих выражений заданы в частотной форме, что допускает легкую смену функции, реализуемой устройством. Преобразователь обеспечивает вычисление полиномов второй степени за счет организации двух контуров обратных связей. Вычисления в устройстве выполняются за счет трехканального коммутирования импульсных потоков, сформированных на основании входных потоковых импульсных сигналов и двоичных кодов, с последующими функциональными преобразованиями в режиме итерационного усреднения. Приведен математический анализ переходных процессов, протекающих в устройстве, рассмотрен вариант реализации преобразователя на базе ПЛИС. Преобразователь может эффективно применяться при решении задач сбора и предварительной обработки квазидигитальной информации от разнородных источников.

Бит-поточковые преобразования, структурная организация вычислений, обратная функция, базисные элементы

Появление новых методов решения типовых задач и создание новых базовых элементов для по-

строения вычислительных систем, как правило, становится актуальным тогда, когда появляются