

УДК: 62-503.55

DOI: 10.53816/23061456_2022_1-2_40

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ
ПАРАМЕТРОВ ГРАФИЧЕСКОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА
РАЗРАБАТЫВАЕМОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА СВЯЗИ**

**THE METHOD OF DETERMINING THE OPTIMAL VALUES
OF THE PARAMETERS OF THE GRAPHICAL USER INTERFACE
OF THE DEVELOPED AUTOMATED COMMUNICATION COMPLEX**

С.В. Федорова, д-р техн. наук С.С. Семенов, канд. техн. наук В.Г. Федоров

S.V. Fedorova, D.Sc. S.S. Semyonov, Ph.D. V.G. Fedorov

Военная академия связи им. С.М. Буденного

В статье предложена методика, которая позволяет находить рациональное проекторочное предложение графического пользовательского интерфейса аналитическими алгоритмами. Она может использоваться при разработке и проектировании автоматизированных комплексов связи. Методика обеспечивает интерфейс эргономическими свойствами, которые направлены на обеспечение высокой надежности деятельности оператора, поддержание его работоспособности, высокую обучаемость работе с интерфейсом. Использование методики позволит решить следующие задачи: рассчитать оптимальные значения параметров графического пользовательского интерфейса, включаемые в тактико-техническое задание заказчиком и/или необходимых программисту при проектировании и разработки программного обеспечения комплекса; сократить время на разработку образца и средства на проведение эргономической экспертизы программного обеспечения.

Ключевые слова: человеко-машинная система, автоматизированный комплекс связи, надежность деятельности оператора, графический пользовательский интерфейс, эргономичный интерфейс.

The article proposes a technique that allows you to find a rational design proposal for a graphical user interface using analytical algorithms. It can be used in the development and design of automated communication systems. The technique provides the interface with ergonomic properties that are aimed at ensuring high reliability of the operator's activity, maintaining its operability, and high learning ability to work with the interface. The use of the methodology will allow solving the following tasks: to calculate the optimal values of the parameters of the graphical user interface included in the tactical and technical task by the customer and / or necessary for the programmer in the design and development of the software complex; to reduce the time for the development of the sample and funds for the ergonomic examination of the software.

Keywords: human-machine system, automated communication complex, operator reliability, graphical user interface, ergonomic interface.

Развитие современных технологий сопровождается повышением степени автоматизации техники и, в частности, повышением степени автоматизации техники связи при разработке современных комплексов связи. Функционирование автоматизированного комплекса связи (АКС) невозможно без участия человека-оператора [1], поэтому при разработке и проектировании обязательно необходимо рассматривать АКС как элемент сложной системы «человек – машина» (СЧМ). В настоящее время при разработке и проектировании современных АКС особое внимание уделяется вопросам надежности техники, а вопросы, связанные с оценкой надежности «человек-машинной» системы, включающую надежность деятельности оператора зачастую не рассматриваются

С целью обеспечения требуемого уровня качества деятельности оператора при допустимой напряженности этой деятельности техника, ее составные части и комплектующие должны соответствовать предъявляемым к ним эргономическим требованиям. Соблюдение этих требований обеспечивает формирование необходимых эргономических свойств техники (управляемости, обслуживаемости, освоенности и обитаемости) в зависимости от назначения, условий эксплуатации, режимов работы образца, характеристик человека и т.п. Соответствие техники таким требованиям проверяется в ходе эргономических экспертиз. Общие эргономические требования к вооружению и военной технике (ВВТ) определены в государственных стандартах и других нормативно-технических документах. При разработке и проектировании образца АКС как заказчиком, так и разработчиком определяются частные эргономические требования [2].

Деятельность оператора АКС основана на его взаимодействии с программными и аппаратными средствами пользовательского интерфейса комплекса. Вопросы эргономического обеспечения аппаратных средств изучаются достаточно давно и диапазон значений общих эргономических требований к ним узок. Вопросы эргономического обеспечения программного пользовательского интерфейса (ППИ) начали активно изучаться только после 2010 года, в связи с активным внедрением средств вычислительной техники как составляющих АКС, и создании

современных автоматизированных комплексов связи.

Анализ эксплуатации АКС, принятых на вооружение, показал, что существует ряд общих недостатков и упущений в области их эргономического обеспечения, которые определили общую неудовлетворенность деятельностью операторов АКС:

- определение частных эргономических требований заказчиком ограничивается их соответствием существующим государственным стандартам, а разработчик (программист), не являющийся специалистом в области применения комплекса, устанавливает их личным предпочтением;

- эргономические экспертизы ППИ образца являются дорогостоящими и на практике проводятся по упрощенной процедуре самими программистами, не являющимися специалистами в вопросах эргономического обеспечения, либо не проводятся вовсе, что приводит к увеличению времени выполнения алгоритмов и повышению напряженности деятельности оператора;

- исследование вопросов влияния ППИ на надежность деятельности оператора и оценки надежности СЧМ с учетом этого влияния при эксплуатации АКС, принятых на вооружение, не проводится;

- отсутствие простых и надежных методик определения частных значений параметров ППИ, соответствующих общим эргономическим требованиям и учитывающих особенности назначения разрабатываемого АКС, которые могли бы применяться как заказчиками, так и разработчиками.

Анализ указанных недостатков позволил выявить противоречие между необходимостью обеспечения высокой функциональной надежности СЧМ и, в частности, высокой надежности деятельности оператора и отсутствием научно-методического аппарата, определяющего оптимальные значения параметров ППИ разрабатываемого образца, соответствующих общим эргономическим требованиям.

В связи с тем, что ППИ большинства АКС — графический, выявленное противоречие позволило определить актуальную научную задачу, заключающуюся в разработке методики определения оптимальных значений параметров графического пользовательского интерфейса (ГПИ) АКС, удовлетворяющих общим эргономическим

требованиям и обеспечивающих максимальное (не ниже требуемого) значение показателя надежности СЧМ — вероятности безошибочного и

своевременного функционирования системы без учета вероятности возникновения отказов техники [3]

$$Q_{СЧМ}(P_F(t)) \xrightarrow{T_F \leq T_{F_{доп}}, P_S(t)=1} \max |P_D \in [P_{D_{min}}, P_{D_{max}}]|,$$

где $Q_{СЧМ}$ — вероятность безошибочного и своевременного функционирования СЧМ; $P_F(t)$ — вероятность безошибочной деятельности оператора в процессе функционирования СЧМ; T_F — время функционирования СЧМ; $T_{F_{доп}}$ — максимально допустимое время функционирования СЧМ; $P_S(t)$ — вероятность возникновения отказов техники в процессе функционирования СЧМ; P_D — множество параметров ГПИ СЧМ; $P_{D_{min}}$ ($P_{D_{max}}$) — минимальные (максимальные) допустимые значения параметров ГПИ, соответствующие общим эргономическим требованиям.

К параметрам ГПИ, согласно [4], определяющим его эргономические показатели, относятся параметры составляющих его элементов: параметры функциональности ГПИ, отражающие способность осуществлять взаимодействие между оператором и АКС, и его программным обеспечением, основанные на представлении оператору структурированной информации об управлении и состоянии АКС, и параметры визуальной эффективности ГПИ, определяющие весь набор выразительных средств элементов ГПИ.

Методика определения оптимальных значений параметров ГПИ разрабатываемого АКС предназначена для решения следующих задач:

- доказательного определения оптимальных значений параметров ГПИ образца АКС заказчиком и разработчиком (программистом) на стадиях разработки и проектирования комплекса;

- сокращения времени на разработку и проектирование АКС и средств на проведение эргономической экспертизы программного обеспечения АКС;

- проведения оценки надежности деятельности оператора с учетом предлагаемых значений параметров ГПИ.

Исходными данными для методики будут значения следующих параметров и показателей: $Q_{АСЧМ}$ — обобщенный показатель надежности СЧМ с аналогом (прототипом) разрабатываемого АКС; λ_{al} — коэффициент значимости задач функционирования СЧМ с аналогом (прототи-

пом) разрабатываемого АКС; P_T — показатель надежности разрабатываемого АКС; L_i — алгоритмы выполнения задач функционирования СЧМ с разрабатываемым АКС; $L_{доп}$ — алгоритмы деятельности оператора при выполнении задач функционирования СЧМ с разрабатываемым АКС; H_s , L_s — размеры средств отображения информации (экрана дисплея); L_c — максимальная удаленность экрана от оператора по линии зрения автоматизированного рабочего места.

Выходными данными, получаемыми в результате применения методики, будут оптимальные значения параметров элементов ГПИ разрабатываемого АКС: $\{\Omega = [L_i]\}$ — индексы элементов D_Ω , определяющие положение элементов в иерархической структуре ГПИ; γ — индексы принадлежности элементов D_Ω к окну программы; $\{H_{D_\Omega}, L_{D_\Omega}\}$ — размеры элементов

ГПИ; $\{(x_{D_\Omega}, y_{D_\Omega})\}$ — координаты размещения элементов ГПИ в окне программы; $\{Inf_{D_\Omega}\}$ — количество информации текстовой метки элементов; $\{fnt_{D_\Omega}\}$ — размеры (кегель) шрифтов текстовой метки элементов; $\{Y_{D_\Omega}\}$ — цвета элементов; $\{e_{D_\Omega}\}$, $\{s_{D_\Omega}\}$, $\{ch_{D_\Omega}\}$ — наличие выделения элемента в виде эффекта (начертания и др.).

Ограничения и допущения принятые при реализации методики: разрабатываемый АКС соответствуют предъявляемым к нему требованиям по надежности; известны (определены) параметры оператора и технических средств; определен вариант взаимодействия оператора и технических средств; распределены функции между ними; известен алгоритм функционирования СЧМ.

В методике определения оптимальных значений параметров ГПИ разрабатываемого АКС можно выделить четыре основных этапа (рис. 1).

На первом этапе методики обязательным является всестороннее изучение аналогов (прототипов) разрабатываемого образца АКС. Это

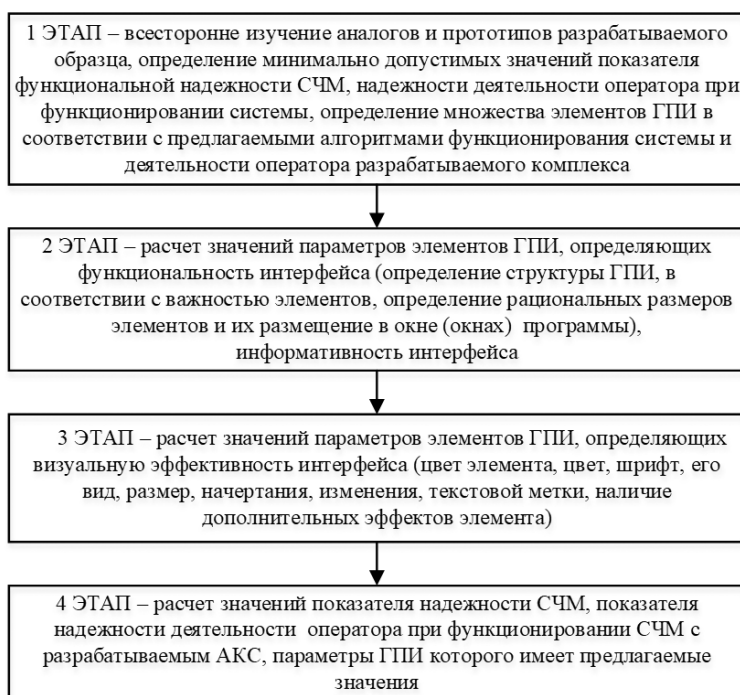


Рис. 1. Этапы методики определения оптимальных значений параметров ГПИ разрабатываемого АКС

необходимо для расчета значения $Q_{АСЧМ}$ — показателя надежности СЧМ «оператор – аналог разрабатываемого АКС», учета и недопущения недостатков, избыточных или необязательных действий оператора и/или операций техники, выявленных в ходе эксплуатации аналогов разрабатываемого АКС.

Далее, используя значение P_T — показателя надежности разрабатываемого АКС, необходимо рассчитать:

– минимальное допустимое значение $P_{Одоп}$ — показателя надежности деятельности оператора при функционировании СЧМ с разрабатываемым АКС;

– минимально допустимые значения $P_{одоп}$ — показателей надежности деятельности оператора при выполнении каждой из задач функционирования СЧМ;

– значения P_l — вероятности выполнения алгоритмов l -ой задачи функционирования СЧМ:

$$P_{Одоп} = \frac{Q_{АСЧМ}}{P_T},$$

$$P_{одоп} = k_l \cdot P_{одоп}, \text{ при } \sum_{l=1}^L k_l = 1, k_l = 0,1\lambda_{al},$$

$$P_l = \lambda_{al} \bar{P}_l, \text{ где } \sum_{l=1}^L P_l = 1,$$

$$\text{при } \bar{P}_l = \begin{cases} 0,1, & \text{если } L \leq 10 \\ 0,01, & \text{если } 10 < L \leq 100, \end{cases}$$

где k_l — коэффициент важности задач функционирования СЧМ с разрабатываемым АКС, λ_{al} — частота выполнения задач функционирования СЧМ с аналогом разрабатываемого АКС в соответствии со статистикой $\lambda_{al} \in N$, \bar{P}_l — вероятности выполнения алгоритмов l -ой задачи функционирования СЧМ с аналогом разрабатываемого АКС, $l = [1, \dots, L]$ — задачи функционирования СЧМ с разрабатываемым АКС.

Также немаловажным действием на данном этапе методики является составление на основании алгоритмов деятельности оператора совокупности функциональных структур, множество которых обеспечивает выполнение всех задач функционирования СЧМ, во всех предусмотренных режимах работы АКС при допустимых условиях с требуемым качеством. Далее каждой такой структуре в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9241-161-2016 определяется элемент ГПИ — средство реализации действия оператора.

Второй этап методики представляет собой пошаговый процесс расчета параметров, определяющих функциональность ГПИ проектируемого АКС. К ним относятся: индексы элементов, определяющие их место в иерархической структуре ГПИ и принадлежность к рабочему окну программы, размеры элементов и их размещение в рабочем окне программы.

Для решения задачи построения иерархической структуры ГПИ, распределения элементов по группам, выбран метод иерархической кластеризации — метод агломерации (метод скатывания мелких кластеров в более крупные), основанный на алгоритме кластеризации FOREL, достоинством которого является его доказанная сходимости за конечное число шагов, в сочетании с алгоритмом BIGFOR, позволяющим учитывать иерархичность структуры ГПИ [5, 6, 7].

Графический пользовательский интерфейс D состоит из d элементов $[D_\Omega]$ ($\Omega=1, \dots, \Psi$, $\Omega=[l_i]$), которые можно разбить на k_i количество кластеров l_i ($l_i=1, \dots, k_i$) на каждом i -ом уровне кластеризации ($i=0, \dots, w$) (на высшем уровне $i=w$ количество кластеров равно 1). Индекс Ω элемента D_Ω , определяющий его место в структуре, представляет собой последовательность номеров кластеров на каждом уровне кластеризации $\Omega=(1, l_{w-1}, \dots, l_2, l_1, d)$. Допустимым является такой вариант кластеризации, который удовлетворяет критерию F_w , состоящего в том, что в один кластер k_i объединяются похожие (близкие) по своим признакам элементы. Оценить похожесть элементов ГПИ целесообразно в виде «похожести на центр» через евклидово расстояние между точкой, являющейся центром кластера, и другими точками в многомерном пространстве в пределах радиуса R_i на каждом из w уровней кластеризации. С точки зрения иерархической структуры кластер является новым элементом ГПИ.

Для представления множества элементов ГПИ точками многомерного пространства необходимо измерить признаки этих элементов в сильных шкалах и нормировать таким образом, чтобы их значения находились в диапазоне $[0,1]$. Таким образом? каждый элемент ГПИ характеризуется n -мерным вектором признаков $\mathbf{r}_z \in [0,1]$, $z=1, \dots, n$.

Для кластеризации исходное множество d точек представляет собой результат кластери-

зации с радиусом $R_0=0$. При этом получается d кластеров, каждый из которых содержит по одной точке, координаты центров которых C_{i0} совпадают с координатами точек в многомерном пространстве y_i .

Далее осуществляется уровневая кластеризация в зависимости от значения радиуса сферы «близости». Суть заключается в перемещении сферы с радиусом R_i в геометрическом пространстве до получения устойчивого центра тяжести C_{ii} точек пространства, попавших в эту сферу. На каждом уровне кластеризации радиус сферы увеличивается на ΔR , $R_i=R_{(i-1)}+\Delta R$, ($R_1=\Delta R$ — для первого уровня кластеризации) в результате которого осуществляется кластеризация i -го уровня и получается $k_i < k_{(i-1)}$ кластеров i -го уровня. Центр сферы при этом сначала совпадает с любым центром точки — кластера, полученного на предыдущем шаге. Определяются все точки — кластеры $(i-1)$ -го уровня, попадающие внутрь сферы радиусом R_i , $C_{i-1} \in C_i$ при условии, что расстояние между центрами кластеров $\rho(C_i, C_{i-1})$ не больше радиуса R_i

$$\rho(C_i, C_{i-1}) = \sqrt{\sum_{z=1}^n (c_{i,z} - c_{i-1,z})^2}.$$

В дальнейшем центр сферы i -го уровня C_{ii} переносится в центр тяжести выделенных точек, координаты которого рассчитывается выражением

$$C_i = (c_{i,z}), c_{i,z} = \frac{1}{n_{k_i}} \cdot \sum_{l=1}^{n_{k_i}} c_{i-1,z}.$$

Это повторяется до тех пор, пока состав выделенных точек, а значит и положение центра не перестанет меняться. Это означает, что сфера переместилась в место локального сгущения точек плотности в признаковом пространстве.

Точки, оказавшиеся внутри сформированной сферы, принадлежат кластеру l i -го уровня и исключаются из дальнейшего рассмотрения. Шаг кластеризации повторяется до тех пор, пока в выборке есть некластеризованные точки — кластеры $(i-1)$ -го уровня, то есть пока все точки не окажутся включенными в кластеры i -го уровня.

$$C_{i-1} \in C_i \Rightarrow \Omega = (1, l_{w-1}, \dots, l_2, l_1) \forall D.$$

Поскольку начальная точка центра сферы выбирается случайным образом, то получается несколько разных вариантов кластеризации. Рациональным считается такой вариант, который соответствует минимальному значению критерия похожести F , т.е. сумма расстояний от центров кластеров нулевого уровня, до центра кластера первого уровня которому он принадлежит, должна быть минимальна

$$F_i = \sum_{l_i=1}^{k_i} \rho_{l_i} \rightarrow \min,$$

$$\rho_{l_i}(C_{l_i}, C_{l_{i-1}}) = \sqrt{\sum_{z=1}^n (c_{l_i z} - c_{l_{i-1} z})^2}.$$

Выполнение этого шага алгоритма осуществляется до тех пор, пока в результате кластеризации не получится один единственный кластер $k_w = 1$. Этот кластер является главным элементом ГПИ — главным рабочим окном программы.

Результатом примененного алгоритма кластеризации является множество индексов $[\Omega]$, $\Omega = (1, l_{w-1}, \dots, l_2, l_1)$ элементов ГПИ, определяющих их место в иерархической структуре пользовательского интерфейса.

Результатом кластеризации является иерархическая структура ГПИ и индексы элементов, определяющих их место в структуре. На рис. 2 представлен результат 4-х уровневой кластери-

зации 42 элементов ГПИ, характеризующихся 2-мя признаками.

Для дальнейшего расчета рационального количества рабочих окон программы и распределения по ним элементов (групп элементов) необходимо определить степень важности каждого из них и их минимальные допустимые размеры.

Важность элементов рассчитывается с помощью матриц очередности использования и связности элементов в алгоритмах выполнения задач функционирования системы.

Элементы матрицы очередности использования элементов ГПИ в алгоритмах выполнения задач функционирования системы $\mathbf{O} = \|\mathbf{O}_{rD}\|$ представляют собой совокупность средневзвешенных частот применения d -го элемента ГПИ на r -ом шаге алгоритма, которые рассчитываются по формуле

$$O_{rD} = \frac{\sum_{l=1}^L K_{rDl} P_l}{L},$$

где r — номер взаимодействия в алгоритме ($r = \overline{1, R}$); D — порядковый номер элемента ($d = \overline{1, D}$); $K_{rDl} = 1$, если в k -ом алгоритме на r -ом шаге присутствует элемент D , в остальных случаях $K_{rDl} = 0$; P_l — вероятность работы по алгоритму l -ой задачи; L — количество задач функционирования человеко-машинной системы.

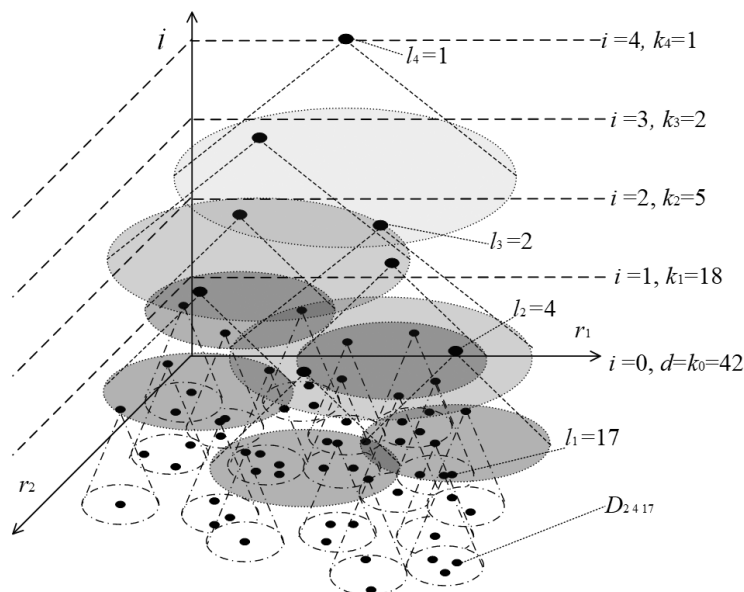


Рис. 2. Иерархическая структура графического пользовательского интерфейса, получаемая в результате кластеризации

Элементы матрицы связности $C = \|C_{\xi\eta}\|$ представляют собой средневзвешенные частоты следования элемента η за элементом ξ и определяются выражением

$$C_{\xi\eta} = \frac{\sum_{l=1}^L H_{\xi\eta l} P_l}{L},$$

где $H_{\xi\eta l}$ — количество случаев, когда в l -ом алгоритме элемент η следует за элементом ξ .

Согласно полученных матриц определяется важность элементов ГПИ, представляемая в виде последовательности. Первым элементом D_1 последовательности (обладающим наибольшей степенью важности) выбирают элемент D из матрицы очередности, величина O_{1D} которого максимальна. Для выбора элемента D_j ($j=1 \dots d$) необходимо рассчитать ряд $a_{D_k} = O_{D_j D_k} + C_{D_{j-1} D_k}$ для всех значений D , не равных $D_1, D_2, \dots, D_{(j-1)}$ (элементов, которые уже размещены). Проведя расчет до конца по всем элементам из d получается последовательность элементов ГПИ в соответствии с их важностью.

На следующем шаге методики определяют параметры элементов, определяющие информативность ГПИ и необходимые для расчета минимально допустимых размеров элементов ГПИ.

Показатель информативности ГПИ определяется количеством информации содержащейся в текстовой метке элемента ГПИ. Поскольку возможности человека-оператора по хранению, обработке информации и принятию решения ограничены возможностями головного мозга, то количество символов в текстовой метке элемента должно быть минимальным при соответствии значения метки значению назначения элемента

$$I_{D_\Omega} = N_C \log_2 N_A,$$

$$N_C \xrightarrow{\sum_{D_\Omega} I_{D_\Omega} \leq I_{\text{дон}}} \min.$$

Расчет минимальных допустимых размеров элементов ГПИ осуществляется в зависимости от минимально допустимых размеров и полученного количества символов текстовых меток элемента, в соответствии со следующими выражениями:

$$H_{D_\Omega} = H_c (N_c + 1), \quad (1)$$

$$L_{D_\Omega} = L_c (N_c + 2) + D_c (N_c - 1), \quad (2)$$

$$S_{D_\Omega} = H_{D_\Omega} \cdot L_{D_\Omega}, \quad (3)$$

где $H_c = 2L_d \cdot \text{tg}(\alpha\pi/360/60)$ — высота символа; $L_c = 0,75H_c$ — ширина символа; $D_c = 0,3H_c$ — интервал между символами; N_c — количество символов в текстовой метке элемента ГПИ; L_d — удаленность дисплея устройства отображения информации от глаз оператора по линии взора; α — угловой размер символа кодирования информации элемента — угол между линиями, соединяющими крайние точки символа по высоте и глаз оператора (при фронтальном наблюдении).

Полученные размеры элементов ГПИ и определенная последовательность элементов, основанная на частоте применения и связности между ними, позволят рационально распределить элементы по рабочим окнам программы управления АКС, которое обеспечит выполнение алгоритмов деятельности оператора за минимальное количество переходов между окнами программы, с учетом ограничения максимального допустимого размера окна программы, обусловленного размерами средства отображения информации, рассчитанных минимальных допустимых размеров элементов ГПИ, и обязательности доступа ко всем элементам с главного рабочего окна программы:

$$K_{\text{зн}} \xrightarrow{\left\{ \begin{array}{l} \sum_{D_\gamma} S_{D_\gamma} \leq S_\gamma, \\ \sum_{D_\gamma} N_{D_\gamma} \leq N_\gamma \end{array} \right.} \max,$$

где $K_{\text{зн}}$ — значимость рассматриваемого окна; S_γ — максимально допустимая площадь окна; N_γ — максимально допустимое количество элементов окна, определяемое возможностями оператора.

Данная задача является классической задачей о загрузке рюкзака [8, 9], а методом ее решения выбран метод динамического программирования, т.к. он относится к точным методам.

В соответствии с полученной ранее последовательностью элементов, основанной на их степени важности, рассчитывается коэффициент значимости для каждого элемента, а также для

элементов высших уровней в соответствии с полученной иерархической структурой согласно выражений (2), (3)

$$K_{zn_{D_\Omega}} = d - j + 1;$$

$$K_{zn_{l_i}} = \frac{1}{k_i} \sum_{\Omega \in l_i} K_{zn_{D_\Omega}}.$$

Для определения элементов главного окна программы из последовательности берутся первые m элементов, удовлетворяющие условию максимально допустимого их количества и суммарной площади. С учетом обязательности доступа ко всем элементам ГПИ с главного рабочего окна программы осуществляется поэтапное исключение из подмножества выбранных элементов — b , и добавлением вместо элемента с наименьшим коэффициентом значимости элемента, стоящего на уровне иерархии на шаг выше, и в состав которого входит исключаемый элемент. После каждой смены элементов в подмножестве b осуществляется проверка соблюдения условий по количеству и площади элементов. Данные действия осуществляются по всем элементам множества D . Блок-схема алгоритма выбора элементов главного окна программы представлена на рис. 3.

Элементы, не включенные в состав главного окна программы, распределяются по дополни-

тельным аналогично указанной частной методике определения элементов главного окна. В случае, если в состав элемента главного окна программы входит малое количество элементов (до шести), то допускается их объединение в группу контекстного меню.

На следующем шаге в соответствии с алгоритмами функционирования системы и деятельности оператора, данными о размерах элементов, полученной последовательности элементов в соответствии с их важностью, проводится рациональное размещение элементов в окне (окнах) программы. Для этого алгоритмы деятельности оператора представляются в виде единого ориентированного графа G^γ , вершинами которого являются элементы ГПИ $d_{[li]}$, а дуги между ними идентифицируют переход от одного элемента к другому — K .

Компоновка элементов осуществляется по критерию минимизации длины маршрута взаимодействия оператора с элементами рабочего окна, для чего предусмотрено применение алгоритма последовательного размещения и итерационного алгоритма, решающих задачу линейного программирования, а именно минимизации целевой функции вида

$$f(S_{ii}) = \sum_{\substack{d_{[li]}^\gamma, d_{[lj]}^\gamma \\ [li], [lj]}} S_{ii}(d_{[li]}^\gamma, d_{[lj]}^\gamma) \cdot C(d_{[li]}^\gamma, d_{[lj]}^\gamma),$$

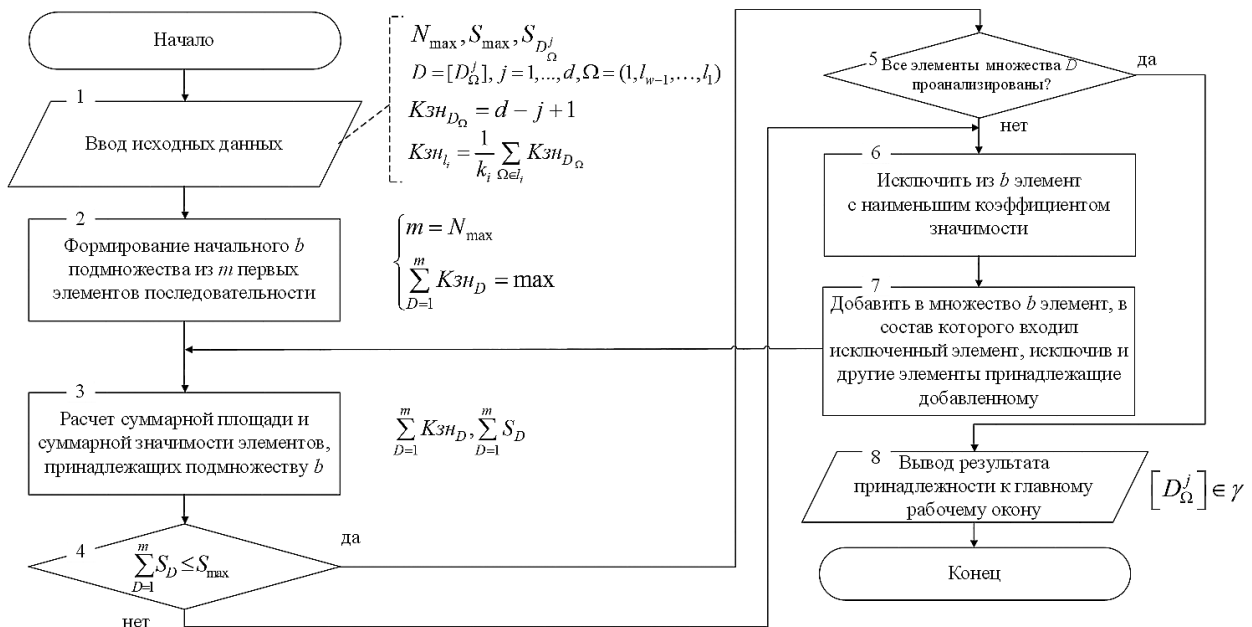


Рис. 3. Блок-схема алгоритма выбора элементов главного окна программы АКС

где d^{γ} — элементы окна γ ; $S_{\alpha}(d^{\gamma}_{[i]}, d^{\gamma}_{[j]})$ — расстояние между центрами элементов $d^{\gamma}_{[i]}$ и $d^{\gamma}_{[j]}$; $C(d^{\gamma}_{[i]}, d^{\gamma}_{[j]})$ — суммарное число переходов от элемента $d^{\gamma}_{[i]}$ к элементу $d^{\gamma}_{[j]}$ и наоборот.

Площадь окна разбивается на ячейки, длина сторон которых является наибольшим общим делителем размеров всех элементов по горизонтали и вертикали. Далее на основании матрицы смежности рассчитывается общее число обращений к каждому элементу, и элемент с максимальной частотой обращения размещается в левом верхнем углу рабочего окна γ . Затем рассчитываются показатели связности и заполняются пустые ячейки рабочего окна γ элементами, начиная с элемента с максимальным значением этого показателя на ближайшее к уже заполненным ячейкам свободное место, и далее, по убыванию этого показателя, заполняются оставшиеся ячейки пульта. Результатом реализации алгоритма является заполнение этих ячеек соответствующими элементами.

Применяя итерационный алгоритм, определяется средняя длина дуги (расстояние между центрами элементов рабочего окна γ) K в графе для каждой вершины $d^{\gamma}_{[i]}$ согласно выражению

$$K(d^{\gamma}_{[i]}) = \frac{\sum_i L(d^{\gamma}_{[i]}, d^{\gamma}_{[j]}) C(d^{\gamma}_{[i]}, d^{\gamma}_{[j]})}{\sum_i C(d^{\gamma}_{[i]}, d^{\gamma}_{[j]})}.$$

Суммирование ведется по всем вершинам, инцидентным рассматриваемой вершине. Затем выбирается элемент с максимальным значением длины дуги, и в случае, если эта величина меньше заданного порога J , то осуществляется выход из алгоритма с предлагаемым вариантом расстановки элементов рабочего окна γ .

Показатель визуальной эффективности ГПИ определяется параметрами элементов, к которым относятся: цвет (фона, элемента, текстовой метки); параметры шрифта текстовой метки (вид, размер, начертание), наличие дополнительных

эффектов элемента. Выбор значений данных параметров в случаях если они не указаны в ТТЗ (ТЗ) должен основываться на требованиях ГОСТ РВ 0029-05.007-2009.

Цвет фона (рабочего окна), элементов, шрифта текстовой метки должен соответствовать следующим требованиям:

$$Y^* = 0,3Y_R^* + 0,59Y_G^* + 0,11Y_B^* (* = T, D_{\Omega}, \gamma);$$

$$|b_{\gamma} - b_{D_{\Omega}}| \leq 0,35, \quad |b_T - b_{D_{\Omega}}| \leq 0,35,$$

где b — яркость цвета фона (рабочего окна), элемента или шрифта текстовой метки.

Значение параметра — размер шрифта соответствует размеру допустимой высоты символа текстовой метки, рассчитанной выражением 1. Наличие у элемента или его текстовой метки дополнительных эффектов определяется важностью элемента.

На заключительном этапе рассматриваемой в работе методики в соответствии с предлагаемой в [10] методикой рассчитываются значения показателей надежности деятельности оператора и функциональной надежности человеко-машинной системы, а также проверяется их соответствие требованиям, предъявляемым заказчиком в ТТЗ.

Выводы

Разработанная методика позволяет получить количественные, рациональные и научно-обоснованные значения параметров графического пользовательского интерфейса разрабатываемого автоматизированного комплекса связи. Применение данной методики в процессе проектирования и разработки современных автоматизированных комплексов связи позволит спроектировать графический пользовательский интерфейс АКС, удовлетворяющий эргономическим требованиям, требованиям надежности деятельности оператора комплекса, сократит время и материальные средства при разработке и проектировании АКС, а также приведет к единому образу ГПИ для АКС различного назначения, что сократит время на обучение и переобучение операторов АКС.

Литература

1. ГОСТ 24.701-86 Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения. — М.: Госстандарт. 1987. 12 с.
2. ГОСТ 26387-84 Система «человек – машина». Термины и определения. — М.: Госстандарт. 1984. 6 с.
3. Макаренко С.И. Справочник научных терминов и обозначений. — СПб: Научно-технические термины. 2019. 254 с.
4. Федорова С.В. Определение многокритериального показателя качества графического интерфейса программно-аппаратного комплекса связи // Научно-технические термины в космических исследованиях Земли. 2021. Т. 13. № 3 С. 20–27.
5. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. — Новосибирск: Изд-во Ин-та математики. 1999. 270 с.
6. Дюран Н., Оделл П. Кластерный анализ. — М.: Статистика. 1977. 128 с.
7. Жамбю М. Иерархический кластер-анализ и соответствия. — М.: Финансы и статистика. 1988. 342 с.
8. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций, 7-е издание.: Пер. с англ. Издательский дом «Вильямс». 2005. 912 с.
9. Березовский Б.А., Барышников Ю.М., Борзенко В.И., Кемпнер Л.М. Многокритериальная оптимизация: Математические аспекты. — М.: Наука. 1989. 128 с.
10. Федорова С.В., Семенов С.С., Федоров В.Г. Методика расчета функциональной надежности системы «оператор – автоматизированный комплекс связи» // Сборник статей III Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «АСУ, информационно-телекоммуникационные системы»». Том 2. — Анапа: ЭРА. 2021. С. 47–53.

References

1. GOST 24.701-86 Reliability of automated control systems. Basic provisions. — Moscow: Gosstandart. 1987. 12 p.
2. GOST 26387-84 «Man-machine» system. Terms and definitions. — Moscow: Gosstandart. 1984. 6 p.
3. Makarenko S.I. Handbook of scientific terms and designations. — St. Petersburg: Naukoemkie tekhnologii. 2019. 254 p.
4. Fedorova S.V. Determination of a multi-criteria indicator of the quality of the graphical interface of a software and hardware communication complex. High-tech technologies in space research of the Earth. 2021. Vol. 13. № 3. P. 20–27.
5. Zagoruiko N.G. Applied methods of data and knowledge analysis. — Novosibirsk: Publishing House of the Institute of Mathematics. 1999. 270 p.
6. Duran N., Odell P. Cluster analysis. — Moscow: Statistika. 1977. 128 p.
7. Zhambyu M. Hierarchical cluster-analysis and compliance. — Moscow: Finansy i statistika. 1988. 342 p.
8. Taha, Hemdi A. Introduction to operations research, 7th edition. Trans. with Anlg. Izdatel'skij dom «Vil'yams». 2005. 912 p.
9. Berezovsky B.A., Baryshnikov Y.M., Borzenko V.I., Kempner M.L. Multi-objective optimization: Mathematical aspects. — Moscow: Nauka. 1989. 128 p.
10. Fedorova S.V., Semenov S.S., Fedorov V.G. Methodology for calculating the functional reliability of the system «operator-automated communication complex». Collection of articles of the III All-Russian scientific and technical conference «State and prospects of development of modern science in the direction of «Automated control systems, information and telecommunications systems»». Volume 2. — Anapa: ERA. 2021. P. 47–53.