

Научная статья

DOI: 10.15593/2224-9397/2024.1.05

УДК 004.512

А.В. ВострыхСанкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Санкт-Петербург, Российская Федерация**АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ
И РАЗДРАЖИТЕЛЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОСПРИЯТИЯ
ГРАФИЧЕСКИХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ**

В настоящее время с бурным развитием информационных технологий всё больше внимания уделяется качеству программных продуктов, в том числе и повышению эффективности их графических пользовательских интерфейсов. Несмотря на многочисленные исследования в области человеко-машинного взаимодействия и постоянное улучшение технологий проектирования интерфейсов, без внимания остаются многочисленные аспекты, влияющие на эффективность восприятия интерфейсов, например, внешние факторы и раздражители. Учёт данных аспектов и оценка их влияния позволят делать выводы как о возможностях устранения данных факторов, так и возможной модернизации интерфейсов – на способность гибко подстраиваться под окружающую среду. **Цель исследования:** разработка научно-методических средств, позволяющих проводить оценку влияния внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия графических пользовательских интерфейсов. **Методы:** автором предложена оригинальная система показателей оценки влияния внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия интерфейсов и на их основе составлен одноимённый алгоритм. **Результаты:** автором предложено более двадцати показателей оценки влияния внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия интерфейсов, которые распределены по двум группам и трём подгруппам, проведена формализация каждого показателя, что позволяет проводить количественные вычисления по каждому направлению (внешние факторы и раздражители) и каждому показателю, а также за счёт этого гибко изменять детализацию исследования. Предложенный одноимённый алгоритм является инвариантным, позволяя также изменять детализацию исследования, пропуская некоторые шаги, не являющиеся важными в конкретной ситуации. Таким образом, разработанные в настоящей статье научно-методические средства позволяют оценить условия, в которых находится оператор, работающий с интерфейсом программы, а также сравнивать различные рабочие композиции (например, отдельные помещения) для выбора наиболее подходящей для работы.

Ключевые слова: графический пользовательский интерфейс, алгоритм, внешние факторы и раздражители, эффективность восприятия, оценка.

A.V. Vostrykh

St. Petersburg University of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
St. Petersburg, Russian Federation

AN ALGORITHM FOR EVALUATING THE INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS AND STIMULI ON THE EFFECTIVENESS OF PERCEPTION OF GRAPHICAL USER INTERFACES

Currently, with the rapid development of information technology, more and more attention is being paid to the quality of software products, including improving the efficiency of their graphical user interfaces. Despite numerous studies in the field of human-machine interaction and the constant improvement of interface design technologies, numerous aspects that affect the effectiveness of interface perception, such as external factors and stimuli, remain unaddressed. Taking into account these aspects and assessing their impact will allow us to draw conclusions about both the possibilities of eliminating these factors and the possible modernization of interfaces for the ability to flexibly adapt to the environment. **Purpose:** develop scientific and methodological tools that allow assessing the influence of external factors and stimuli on the effectiveness of perception of graphical user interfaces. **Methods:** the author has proposed an original system of indicators for assessing the influence of external factors and stimuli on the effectiveness of perception of interfaces and based on them, an algorithm of the same name has been compiled. **Results:** the author proposed more than twenty indicators for assessing the influence of external factors and stimuli on the effectiveness of perception of interfaces, which are divided into two groups and three subgroups, formalized each indicator, which allows quantitative calculations in each direction (external factors and stimuli) and each indicator, and due to this flexibly change the details of the study. The proposed algorithm of the same name is invariant, allowing you to also change the detail of the study by skipping some steps that are not important in a particular situation. Thus, the scientific and methodological tools developed in this article allow us to assess the conditions in which the operator working with the program interface is located, as well as compare different working compositions (for example, separate rooms) to choose the most suitable for work.

Keywords: graphical user interface, algorithm, external factors and stimuli, perception effectiveness, evaluation.

Введение

В современном мире с каждым днём возрастает количество разнонаправленных программных продуктов (далее – ПП), практически все из которых обладают графическим пользовательским интерфейсом (далее – ГПИ) [1–3].

ГПИ является посредником между пользователем (который, возможно, не имеет даже технического образования) и программными алгоритмами, обеспечивая эффективность восприятия информации и возможность обрабатывать различные данные. От эффективности ГПИ в большинстве случаев зависят успех выполнения функциональных обязанностей пользователями и их внутреннее чувство удовлетворённости от работы [4–8].

Помимо качества исполнения самого ГПИ на эффективность его восприятия также влияют окружающая среда и раздражители. Рассмотрим некоторые из них: допустим ГПИ представляется в виде изображения, выведенного на экран монитора, с которого пользователь считывает информацию. Перечислим некоторые свойства монитора, влияющие на восприятие ГПИ:

– диффузность материала монитора (некачественная поверхность монитора может способствовать образованию бликов и отражений, что, несомненно, будет отвлекать пользователей и повышать визуальную нагрузку на глаза);

– яркость изображения монитора (яркость подсветки монитора, в случае с LCD) при определённых значениях способствует комфортной работе пользователей (насколько хорошо пользователи видят изображение на экране в различных условиях освещения), повышает качество графики, улучшает зрительное восприятие и общее удовольствие от считывания данных. Выбор яркости дисплея зависит от индивидуальных предпочтений и условий освещения. Для использования в темных помещениях рекомендуется выбирать монитор с более высокой яркостью, чтобы получить яркое и контрастное изображение [9–11]. В светлых помещениях, наоборот, рекомендуется выбирать монитор с более низкой яркостью, чтобы не создавать излишнего освещения и избегать зернистости изображения. В различных профессиях специалистам для оптимального восприятия информации с дисплея требуется разная яркость монитора. Для работы с графикой профессионального уровня рекомендуется выбирать монитор с высокой яркостью, чтобы точно передавать цвета и детали изображения. Для офисной работы или чтения текста подойдет монитор со средней яркостью [9–11]. Уровень яркости оказывает прямое влияние на здоровье глаз пользователя. Так, слишком низкая яркость вызывает напряжение, ухудшает видимость и вызывает усталость [1–4]. Слишком высокая яркость может привести к ослеплению, чрезмерному напряжению глаз и ухудшению качества сна. Рекомендуется выбирать монитор с оптимальной яркостью, обеспечивающей комфортное и безопасное использование. Существуют некоторые основные рекомендации, которые демонстрируют правильную яркость монитора в большинстве случаев (табл. 1);

Таблица 1

Рекомендации по выбору уровня яркости

| Рекомендуемый уровень яркости: | Описание |
|--------------------------------|--|
| 120–140 кд/м ² | Уровень яркости рекомендуется для большинства пользователей и обеспечивает хорошую видимость и комфортное восприятие контента. Он также энергоэффективен и помогает продлить срок службы монитора |
| 140–160 кд/м ² | Уровень яркости может быть предпочтительным для пользователей, работающих с графикой или просматривающих фотографии и видео. Он обеспечивает более насыщенные цвета и лучшую детализацию изображений |
| 160–180 кд/м ² | Уровень яркости может быть полезным для пользователей, работающих с цветовой гаммой или программами для редактирования видео. Он обеспечивает максимальную яркость и контрастность, но может вызывать усталость глаз при продолжительном использовании |

– разрешение экрана монитора. Чем разрешение выше, тем выше качество передаваемого изображения, и, как следствие, снижается нагрузка на глаза, повышаются уровень удовольствия от работы и общая работоспособность [7–11];

– частота обновления и время отклика. Высокая частота обновления влияет на плавность отображения динамичных объектов на дисплее. Если в ГПИ присутствуют какие-либо анимации, то этот фактор, несомненно, будет оказывать влияние на комфорт восприятия информации.

Относительно внешних факторов на восприятия ГПИ влияют, например, следующие:

– количество мониторов, необходимых для работы пользователя. Чем их число выше, тем больше визуальная нагрузка на оператора, которому требуется переключать взор с монитора на монитор, тратить больше сил на концентрацию внимания при широком рабочем пространстве для своевременного обнаружения индикаторов и сигналов и т.д.;

– качество и направление искусственного освещения, которое в зависимости от своей температуры может исказить цвета ГПИ;

– направление естественного освещения, которое в некоторых случаях может создавать блики (при нахождении с тыльной стороны) или слепить пользователей (при нахождении с фронтальной стороны) и т.д.

Для оценки влияния внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия ГПИ необходимы научно-методические средства, позволяющие в числовом виде представлять результаты вычислений исследователям.

В настоящее время в научной литературе можно выделить следующие количественные методы и подходы, позволяющие оценить эффективность ГПИ: сложности поиска Ю.Г. Емельянова [14]; чрезмерности К. Парка [15]; предсказуемости В.М. Алифиренко [16]; определение объёма перерабатываемой информации Р. Хартли [17]; наглядности В.В. Диковицкого [18]; краткость К. Шеннон [19]; закон П. Фиттса о сложности задачи выбора цели [20]; ценность данных А.А. Харкевич [21]; информативность и выразительность Б.С. Горячкина [22]; визуальная простота С. Стикела [23].

Анализ данных методов показал, что они пригодны для оценки только характеристик ГПИ, но совсем не способны оценить влияние внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия ГПИ.

В связи с этим в настоящей статье разработаны система показателей и алгоритм оценки влияния внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия ГПИ.

Система показателей оценки влияния внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия ГПИ представлена двумя основными группами: внешние факторы и раздражители. В группу внешних факторов вошли следующие подгруппы и показатели:

– удобство фурнитуры, в состав которой входят показатели: диффузность (свойство внешней поверхности монитора, стола и т.д. препятствовать образованию бликов и отражений) и конструкционная гибкость (свойство монитора поддерживать горизонтальную и вертикальную ориентацию). Данная подгруппа и показатели введены автором настоящей статьи;

– мультidisплейность (количество мониторов, необходимых для выполнения должностных обязанностей оператором). Данный показатель введён автором настоящей статьи;

– угловой размер знака (угол между линиями, соединяющими крайние точки знака по высоте и глаз наблюдателя при фронтальном наблюдении). Данный показатель заимствован из нормативных документов [9–11];

– угол наблюдения (угол между нормалью, проведенной к поверхности экрана в месте отображения знака, и прямой, соединяющей глаз оператора с точкой пересечения нормали с поверхностью экрана). Данный показатель заимствован из нормативных документов [9–11];

В группу раздражителей вошли следующие подгруппы и показатели:

– освещение (в помещении работы оператора освещение может быть искусственным и естественным); данный показатель заимствован из нормативных документов [9–11];

– дисплей монитора, в состав группы входят следующие показатели: отношение яркостей (отношение яркостей поверхностей в зоне наблюдения); неравномерность яркости рабочего поля экрана; контраст изображения; искажения изображения (отклонение рабочего поля от прямоугольной формы); яркость изображения (отношение яркости излучения и яркости отражения); неравномерность яркости элементов знаков на экранах; контрастность деталей изображения; контрастность соседних уровней кодирования яркостью; постоянство размера знака; дрожание (пространственная нестабильность изображения); несведение цветов; мелькание (временная нестабильность изображения); электростатический потенциал экрана (напряженность электростатического поля в пространстве перед экраном дисплея); разрешение экрана монитора (соотношение количества пикселей и физического размера экрана).

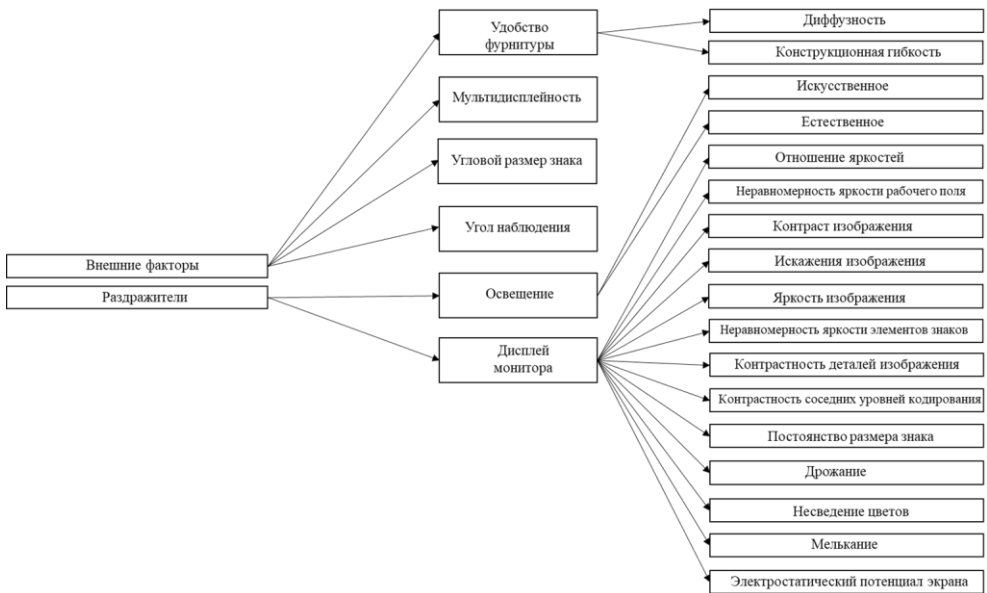


Рис. 1. Система показателей оценки влияния внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия ГПИ

Данные показатели заимствованы из нормативных документов [9–11].

Автором настоящей статьи предложена следующая система показателей оценки влияния внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия ГПИ, представленная на рис. 1.

Рассмотрим каждый из показателей групп по отдельности и представим их в формализованном виде. Как было изложено выше, некоторые показатели заимствованы из нормативных документов [9–11], остальные разработаны автором.

Методы исследования

В группе «Внешние факторы» подгруппы «Удобство фурнитуры» показатели вычисляются таким образом.

Диффузность. Показатель оценивает отсутствие у окружающих предметов, в том числе корпуса дисплея отражающих свойств, создающих при попадании на них света, бликов и отражений. Так, например, в нормативных документах [9–11] имеются следующие рекомендации:

– покрытие рабочей поверхности стола должно быть из диффузно отражающего материала (материал с коэффициентом светорассеивания 0,95) с коэффициентом отражения 0,45–0,50;

– корпус дисплея, клавиатуры и других устройств персонального компьютера должен быть окрашен в мягкие тона, иметь матовую (диффузно отражающую) поверхность одного цвета;

– в корпусе дисплея, клавиатуры и других устройств персонального компьютера не должно присутствовать блестящих деталей, способных создавать блики;

– рекомендуется к использованию дисплеев, имеющих антибликовое покрытие экрана или антибликовый фильтр.

Автором статьи предложено следующее выражение для выбора значения показателя диффузность D_f :

$$\begin{cases} \text{if } 0 \leq R_l \leq 0,45 \rightarrow D_f = 1, \\ \text{if } 0,45 < R_l \rightarrow D_f = 0,5, \end{cases} \quad (1)$$

где R_l – коэффициент отражения, вычисляется с помощью следующей формулы:

$$R_l = \frac{l_r}{l_i}, \quad (1.1)$$

где l_r – мощность отраженной волны; l_i – мощность падающей волны.

Конструкционная гибкость. Показатель оценивает конструкционную гибкость дисплея на возможность менять ориентацию O_f , наклон Na_f , фиксацию F_f и т.д. Исходя из этого, показатель конструкционной гибкости K_f будет выбираться из наличия указанных выше свойств. При наличии полной гибкости во всех координатных плоскостях показатель равен 1, при частичной возможности наклона-поворота показатель равен 0,5 и при отсутствии возможности адаптации монитора показатель равен 0,1. Автором настоящей статьи предложено следующее выражение для выбора значения показателя:

$$\begin{cases} O_f \text{ and } Na_f \text{ and } F_f == \text{true} \rightarrow K_f = 1, \\ O_f \text{ or } Na_f \text{ or } F_f == \text{true} = 0,5, \\ O_f \text{ and } Na_f \text{ and } F_f != \text{true} \rightarrow K_f = 0,1. \end{cases} \quad (2)$$

Мультидисплейность. Показатель демонстрирует повышение визуальной и когнитивной нагрузок на пользователей при увеличении числа дисплеев, на которых ему необходимо выполнять должностные обязанности. Автором настоящей статьи предложена следующая формула для вычисления показателя:

$$M_d = N_d \cdot P_d \cdot k_{mh}, \quad (3)$$

где N_d – количество дисплеев; k_{mh} – коэффициент эргономической нагрузки (необходимость вращения головой для считывания информации при работе на нескольких мониторах); P_d – разрешение дисплея (чем больше разрешение дисплея, тем выше качество изображения и ниже нагрузка на зрение), вычисляется с помощью следующей формулы:

$$P_d = \frac{\sqrt{N_{pv}^2 + N_{pw}^2}}{d_m}, \quad (3.1)$$

где N_{pv} – количество пикселей по высоте; N_{pw} – количество пикселей по ширине; d_m – диагональ дисплея.

Угловой размер знака α (угол, под которым можно рассмотреть знак без снижения читабельности). Показатель вычисляется с помощью следующей формулы [9]:

$$\alpha = 2 \arctg \frac{h}{2l}, \quad (4)$$

где h – высота знака, мм; l – расстояние от знака до глаза наблюдателя, мм.

Угловой размер знака должен быть в пределах от 16 до 60 угловых минут, что составляет от 0,46 до 1,75 см, если пользователь смотрит на экран с расстояния 50 см.

Угол наблюдения. Показатель определяется углом между нормалью, проведенной к поверхности экрана в месте отображения знака, и прямой, соединяющей глаз оператора с точкой пересечения нормали с поверхностью экрана. В идеале данный угол должен быть в пределах 15–20 градусов. Показатель «угол наблюдения» можно вычислить с помощью следующей формулы [10]:

$$V_a = \text{atan} \frac{S}{D}, \quad (5)$$

где S – визуальный размер дисплея; D – расстояние от глаз пользователя до дисплея.

В группе «Раздражители» подгруппы «Освещение» выделено две характеристики: искусственное и естественное освещение.

Искусственное освещение. Согласно нормативным документам, освещаемость на рабочем месте оператора должна быть 300–500 лк [11]. В связи с этим автором настоящей статьи предложено следующее выражение для выбора показателя искусственного освещения K_i :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{if } 300 \leq E_i = \frac{I_a \cos^3 \alpha}{h^2} \leq 500 \rightarrow K_i = 1, \\ \text{if } (E_i = \frac{I_a \cos^3 \alpha}{h^2} < 300) \text{ or } (500 < E_i = \frac{I_a \cos^3 \alpha}{h^2}) \rightarrow K_i = 0,5, \end{array} \right. \quad (6)$$

где E_i – освещаемость искусственными источниками света; I_a – сила света; h – высота подвеса светильника; $I_a \cos^3 \alpha$ – освещенность точки A при высоте подвеса светильника.

Естественное освещение. Согласно рекомендациям из нормативных документов: по отношению к световым проёмам оператор должен располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, преимущественно слева [10]. Свет, падающий спереди на рабочее место, утомляет зрение. Свет, падающий сзади, ухудшает видимость, создает блики на экране. В связи с этим автором настоящей статьи предложено следующее выражение для выбора показателя естественное освещение K_e :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{if } E_e = \text{left or right} \rightarrow K_e = 1, \\ \text{else} \rightarrow K_e = 0,5, \end{array} \right. \quad (7)$$

где E_e – освещаемость естественным источником света; left, right – направление воздействия естественного источника света на оператора.

В группе «Раздражители» подгруппы «Дисплей монитора» показатели вычисляются следующим образом.

Отношение яркостей C в зоне наблюдения. Показатель представляется возможным вычислить с помощью следующей формулы [2]:

$$\begin{cases} C = \frac{\bar{L}_э}{\bar{L}_д} \text{ if } L_э > L_д, \\ C_1 = \frac{\bar{L}_д}{\bar{L}_э} \text{ if } L_д > L_э, \end{cases} \quad (8)$$

где $\bar{L}_э$ – яркость экрана, кд/м²; $\bar{L}_д$ – яркость документа, кд/м². Данные показатели рассчитываются по следующей формуле:

$$\bar{L}_д = \frac{L_i}{n}, \quad (8.1)$$

где L_i – значение отсчетов яркости (экрана, документа); n – число отсчетов яркости измеренной поверхности.

Отношение яркостей в зоне наблюдения (экран, документ, поверхность стола) должно быть не более 10:1.

Неравномерность яркости рабочего поля экрана – наибольшее по модулю значение неравномерности δL_i , вычисляется с помощью следующей формулы [3]:

$$\delta L_i = \frac{L_{cp} - L_i}{L_{cp}} 100, \quad (9)$$

где L_{cp} – средняя яркость элементов знакоместа, кд/м², вычисляется с помощью следующей формулы [3]:

$$L_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n L'_i}{n}, \quad (9.1)$$

где L'_i – яркость i -го элемента в знакоместе, кд/м²; n – число элементов экрана в знакоместе.

Контраст изображения K_d . Показатель вычисляется с помощью следующей формулы [3]:

$$K_d = \frac{L_{max}}{L_{min}} k_o, \quad (10)$$

где L_{max} – максимальная яркость изображения; L_{min} – минимальная яркость изображения; k_o – коэффициент отражений, возникающих за счет внешней освещенности экрана.

Диапазоны значений яркости и контраста изображения должны соответствовать [3]:

- не менее 35 кд/м² для дисплеев на ЭЛТ;
- не менее 20 кд/м² для плоских дискретных экранов [9–11].

Неравномерность яркости рабочего поля экрана и неравномерность яркости элементов знака должны быть не более 20 %. Яркостный контраст изображения должен быть не менее 3:1 (для плоских дискретных экранов при угле наблюдения от минус 40° до плюс 40°). Яркостный контраст внутри знака и между знаками должен быть не менее 3:1 [11].

Искажение изображения $\delta'_B, \delta'_H, \delta'_D$. Показатель (отклонение рабочего поля от прямоугольной формы определяют по наибольшим значениям модулей отношений) с помощью следующих формул [11]:

$$\delta'_B = \frac{2(B_B - B_H)}{B_B + B_H}, \quad (11.1)$$

$$\delta'_H = \frac{2(H_L - H_P)}{H_L + H_P}, \quad (11.2)$$

$$\delta'_D = \frac{2(D_1 - D_2)}{D_1 + D_2}, \quad (11.3)$$

где δ'_B – относительная разность длин верхней и нижней строк знаков; δ'_H – относительная разность длин крайних левого и правого столбцов знаков; δ'_D – относительная разность длин диагоналей рабочего поля.

Яркость изображения. Монитор является средством передачи графической составляющей ГПИ пользователю, от его качества и свойств зависит эффективность восприятия информации ГПИ пользователем. Согласно нормативным документам [9–11], показатель «яркость изображения» L_{im} рассчитывается с помощью следующей формулы:

$$L_{im} = L_{iz} + L_{otr}, \quad (12)$$

где L_{iz} – яркость излучения; L_{otr} – яркость отражения.

Отражённая яркость L_{otr} вычисляется с помощью следующей формулы:

$$L_{otr} = \frac{E \rho_d}{\pi}, \quad (12.1)$$

где E – освещённость экрана (устанавливают в соответствии с нормативными документами), если значение E не указано, его принимают равным 250 лк; ρ_d – коэффициент диффузного отражения экрана дисплея, рассчитывается с помощью следующей формулы:

$$\rho_d = \rho_{\pi} \frac{L_3}{L_{\pi}}, \quad (12.2)$$

где ρ_{π} – коэффициент диффузного отражения; L_{π} – яркость поверочной пластины; L_3 – отражённая яркость экрана.

Предлагается в формулу вычисления из нормативных документов добавить коэффициент «вид деятельности» k_d . Таким образом, итоговая формула вычисления показателя «яркость дисплея» L_{imd} примет следующий вид:

$$L_{imd} = (L_{iz} + L_{otr})k_d. \quad (13)$$

Неравномерность яркости элементов знаков на экранах $\delta L_i'$. Показатель вычисляется с помощью следующей формулы [11]:

$$\delta L_i' = \frac{L_{cp}' - L_i'}{L_{cp}'} 100. \quad (14)$$

Среднюю яркость элементов L'_{cp} , кд/м², матрицы знака рассчитывают по следующей формуле [11]:

$$L'_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i'}{n}. \quad (14.1)$$

где L_i' – яркость i -го элемента матрицы знака, кд/м²; n – число элементов в матрице знака.

Контрастность деталей изображения $C_{д1Г(В)}$. Показатель вычисляется с помощью следующей формулы [11]:

$$C_{д1Г(В)} = \frac{L_{\max 1Г(В)} + L_{\max 2Г(В)}}{2L_{\min 1,2Г(В)}}, \quad (15)$$

где $L_{\max 1Г(В)}$ – максимальная яркость первого горизонтального или вертикального штриха, кд/м²; $L_{\max 2Г(В)}$ – максимальная яркость второго горизонтального или вертикального штриха, кд/м²; $L_{\min 1,2Г(В)}$ – минимальная яркость в промежутке между первым и вторым штрихами, кд/м².

Контрастность соседних уровней кодирования яркостью $C_{кодi}$. Показатель вычисляется с помощью следующей формулы [11]:

$$C_{кодi} = \frac{L_{i+1}}{L_i}. \quad (16)$$

где L_i яркость i -го уровня кодирования. За результат измерения принимают меньшее значение $C_{кодi}$.

Постоянство размера знака $\delta h_{зн}$ и $\delta b_{зн}$. Показатель вычисляется с помощью следующих формул [11]:

$$\delta h_{зн} = \frac{h_{ц} - h_1}{h_{ц}} 100, \quad (17.1)$$

$$\delta b_{зн} = \frac{b_{ц} - b_1}{b_{ц}} 100, \quad (17.2)$$

где $h_{ц}$ – размер знака в центре рабочего поля по вертикали, мм; h_1 – размер знака по вертикали вне центра, мм; $b_{ц}$ – размер знака в центре рабочего поля по горизонтали, мм; b_1 – размер знака по горизонтали вне центра, мм.

Дрожание S. Показатель вычисляется с помощью следующей формулы [11]:

$$s = \sqrt{S_{г}^2 + S_{в}^2}, \quad (18)$$

где $S_{г}^2$ – перемещение границы знака по горизонтали, мм; $S_{в}^2$ – перемещение границы знака по вертикали, мм.

Несведение цветов γ . Показатель вычисляется с помощью следующей формулы [11]:

$$\gamma = 2 \arctg \frac{\sqrt{\Delta h^2 + \Delta b^2}}{2l}, \quad (19)$$

где l – проектное расстояние наблюдения, мм; $\Delta h, \Delta b$ – абсолютные погрешности измерений.

Мелькание (временная нестабильность изображения). Согласно нормативным документам, временная нестабильность изображения (мелькание) не фиксируется наблюдателем при установленной частоте обновления изображения, равной или более 75 Гц для дисплеев на ЭЛТ и 60 Гц – для дисплеев на плоских дискретных экранах [9-11]. В связи с этим автором настоящей статьи предложено следующее выражение для выбора показателя «мелькание» K_{me} :

$$\begin{cases} \text{if } V_e \geq 75 \text{ or } V_p \geq 60 \rightarrow K_{me} = 1, \\ \text{else} \rightarrow K_{me} = 0,5. \end{cases} \quad (20)$$

Электростатический потенциал экрана E. Показатель вычисляется с помощью следующей формулы [11]:

$$E = R \cdot F, \quad (21)$$

где F – калибровочный коэффициент; R – напряжённость электростатического поля.

Результаты исследования и их обсуждение

Таким образом, алгоритм оценки влияния внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия ГПИ состоит из следующих шагов:

Шаг 1 – Вычисление коэффициента отражения R_l с помощью формулы (1.1);

Шаг 2 – Выбор показателя «Диффузность» D_f с помощью выражения (1);

Шаг 3 – Выбор показателя «Конструкционная гибкость» K_f с помощью выражения (2);

Шаг 4 – Вычисление показателя «Разрешения дисплея» P_d с помощью формулы (3.1);

Шаг 5 – Если вычислено разрешение всех дисплеев, используемых в работе оператора N_{pv} , то переход к шагу 6, если нет, то возврат на шаг 4;

Шаг 6 – Выбор коэффициента эргономической нагрузки k_{mh} ;

Шаг 7 – Вычисление показателя «Мультидисплейность» M_d с помощью формулы (3);

Шаг 8 – Измерение расстояния от знака до глаза наблюдателя l ;

Шаг 9 – Измерение высоты знака h ;

Шаг 10 – Вычисление показателя «Угловой размер знака» α , с помощью формулы (4);

Шаг 11 – Вычисление показателя «Угол наблюдения» V_a с помощью формулы (5);

Шаг 12 – Вычисление силы света I_a ;

Шаг 13 – Если проверены все источники искусственного освещения, то переход к шагу 14, если нет, то возврат на шаг 12;

Шаг 14 – Выбор показателя «Искусственное освещение» K_i с помощью выражения (6);

Шаг 15 – Выбор показателя «Естественное освещение» K_e с помощью выражения (7);

Шаг 16 – Вычисление яркость измеренной поверхности \bar{L} с помощью формулы (8.1);

Шаг 17 – Если проверена яркость всех поверхностей в зоне наблюдения, то переход к шагу 18, если нет, то возврат на шаг 16;

Шаг 18 – Вычисление показателя «Отношение яркостей» C с помощью формулы (8);

Шаг 19 – Вычисление средней яркости элементов знакоместа L_{cp} с помощью формулы (9.1);

Шаг 20 – Вычисление показателя «Неравномерность яркости рабочего поля экрана» δL_i с помощью формулы (9);

Шаг 21 – Вычисление максимальной яркости изображения L_{max} ;

- Шаг 22 – Вычисление минимальной яркости изображения L_{\min} ;
- Шаг 23 – Вычисление показателя «Контраст изображения» K_d с помощью формулы (10);
- Шаг 24 – Вычисление показателя «Искажения изображения» $\delta'_B, \delta'_H, \delta'_D$ с помощью формул (11.1–11.3);
- Шаг 25 – Вычисление яркости излучения L_{iz} ;
- Шаг 26 – Вычисление яркости отражения L_{otr} с помощью формулы (12.1);
- Шаг 27 – Выбор коэффициент вида деятельности k_d ;
- Шаг 28 – Вычисление средней яркости элементов L'_{cp} с помощью формулы (13);
- Шаг 29 – Вычисление показателя «Неравномерность яркости элементов знаков на экранах» $\delta L_i'$ с помощью формулы (14);
- Шаг 30 – Измерение максимальной яркости первого горизонтального или вертикального штриха $L_{\max 1Г(В)}$;
- Шаг 31 – Измерение максимальной яркости второго горизонтального или вертикального штриха $L_{\max 2Г(В)}$;
- Шаг 32 – Измерение минимальной яркости в промежутке между первым и вторым штрихами $L_{\min 1,2Г(В)}$;
- Шаг 33 – Вычисление показателя «Контрастность деталей изображения» $C_{д1Г(В)}$ с помощью формулы (15);
- Шаг 34 – Вычисление показателя «Контрастность соседних уровней кодирования яркостью» $C_{кодi}$ с помощью формулы (16);
- Шаг 35 – Измерение размера знака в центре рабочего поля по вертикали $h_{ц}$;
- Шаг 36 – Измерение размера знака по вертикали вне центра h_1 ;
- Шаг 37 – Измерение размера знака в центре рабочего поля по горизонтали $b_{ц}$;
- Шаг 38 – Измерение размера знака по горизонтали вне центра b_1 ;
- Шаг 39 – Если проведены все измерения и результаты удовлетворяют условиям, то переход к шагу 40, если нет, то возврат на шаг 35;
- Шаг 40 – Вычисление показателя «Постоянство размера знака по вертикали» $\delta h_{зн}$ с помощью формулы (17.1);
- Шаг 41 – Вычисление показателя «Постоянство размера знака по горизонтали» $\delta b_{зн}$ с помощью формулы (17.2);

Шаг 42 – Вычисление показателя «Дрожание» S с помощью формулы (18);

Шаг 43 – Вычисление показателя «Несведение цветов» γ с помощью формулы (19);

Шаг 44 – Вычисление показателя «Мелькание» K_{me} с помощью формулы (20);

Шаг 45 – Вычисление показателя «Электростатический потенциал экрана» E с помощью формулы (21);

Шаг 46 – Конец алгоритма. Вывод результатов.

Представленный алгоритм является инвариантным, поэтому последовательность шагов может не соблюдаться или некоторые шаги могут быть пропущены исследователем.

Схема алгоритма оценки влияния внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия ГПИ представлена на рис. 2.

Также на рисунке цветом выделены группы: «внешние факторы» и «раздражители».

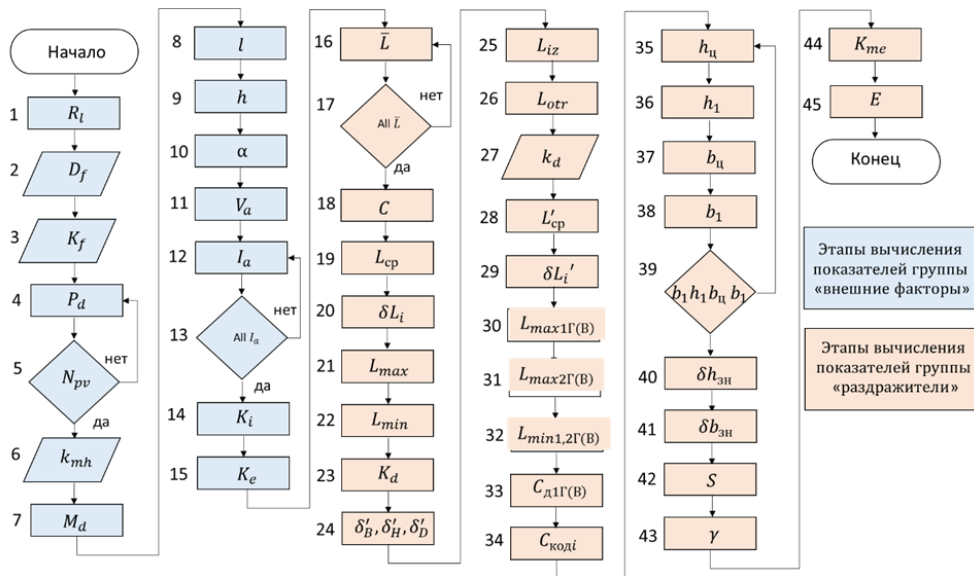


Рис. 2. Схема алгоритма оценки влияния внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия ГПИ

В ходе вычислений исследователь получает спектр числовых значений (табл. 2), с помощью которых становится возможным определить степень воздействия внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия ГПИ.

Таблица 2

Оценка показателей воздействия внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия ГПИ

| Показатель | Значение | Влияние |
|---|---|---------------|
| Диффузность | 1 | Положительное |
| | 0,5 | Отрицательное |
| Конструкционная гибкость | 1 | Положительное |
| | 0,5 | Отрицательное |
| | 0,1 | Отрицательное |
| Мультидисплейность | $M_d < 1$ | Положительное |
| | $M_d > 1$ | Отрицательное |
| Угловой размер знака | $16 < \alpha < 60$ | Положительное |
| | else | Отрицательное |
| Угол наблюдения | $15 \leq V_a \leq 20$ | Положительное |
| | else | Отрицательное |
| Искусственное освещение | 1 | Положительное |
| | 0,5 | Отрицательное |
| Естественное освещение | 1 | Положительное |
| | 0,5 | Отрицательное |
| Отношение яркостей | $C < 10$ | Положительное |
| | else | Отрицательное |
| Неравномерность яркости рабочего поля экрана | $\delta L_i < 20\%$ | Положительное |
| | else | Отрицательное |
| Контраст изображения | $\begin{cases} K_d(\text{ЭЛТ}) > 35 \\ K_d(\text{ПДЭ}) > 20 \end{cases}$ | Положительное |
| | else | Отрицательное |
| Искажение изображения | $\begin{cases} \delta'_B \leq 0,02 \\ \delta'_H \leq 0,02 \\ \delta'_D \leq 0,02 \end{cases}$ | Положительное |
| | else | Отрицательное |
| Яркость изображения | $10 < L_{\text{имд}} < 25$ | Положительное |
| | else | Отрицательное |
| Неравномерность яркости элементов знаков на экранах | $\delta L_i' < 20\%$ | Положительное |
| | else | Отрицательное |
| Контрастность деталей изображения | $C_{\text{длГ(В)}} < 0,2$ | Положительное |
| | else | Отрицательное |
| Постоянство размера знака | $\begin{cases} \delta h_{\text{зн}} < 5\% \\ \delta b_{\text{зн}} < 5\% \end{cases}$ | Положительное |
| | else | Отрицательное |
| Дрожание | $s < 2 * 1E(-4L)$ | Положительное |
| | else | Отрицательное |
| Несведение цветов | $\gamma < 0,3$ | Положительное |
| | else | Отрицательное |
| Мелькание | 1 | Положительное |
| | 0,5 | Отрицательное |
| Электростатический потенциал экрана | $E < 500$ | Положительное |
| | 0,5 | Отрицательное |

Каждое значение показателя исследователь умножает на коэффициент значимости, после чего полученные значения складываются, получая общую оценку воздействия внешних факторов и раздражителей

на эффективность восприятия ГПИ, тем самым появляется возможность сравнивать различные условия (помещение, оргтехника и т.д.) для выбора наиболее подходящего для работы оператора.

Таким образом, в результате работы алгоритма оценки влияния внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия ГПИ становится возможным вычислить следующие показатели: диффузность; конструкционную гибкость; мультidisплейность; угловой размер знака; угол наблюдения; искусственное освещение; естественное освещение; отношение яркостей; неравномерность яркости рабочего поля экрана; контраст изображения; искажение изображения; яркость изображения; неравномерность яркости элементов знаков на экранах; контрастность деталей изображения; контрастность соседних уровней кодирования яркостью; постоянство размера знака; дрожание; несведение цветов; мелькание; электростатический потенциал экрана; разрешение экрана монитора.

Заключение

Представленные в настоящей статье показатели и алгоритм оценки влияния внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия ГПИ позволяют анализировать окружающую обстановку оператора с целью выявления и последующего снижения негативно влияющих аспектов на восприятие информации из программного обеспечения и, как следствие, повышения работоспособности.

Формализованное представление показателей позволяет осуществить числовую оценку как по отдельным направлениям, так и общую, а реализация представленного алгоритма в виде программного продукта в будущем позволит автоматизировать оценку, сократив временные затраты.

Библиографический список

1. Уэйншенк, С. 100 новых главных принципов дизайна. Как удержать внимание / С. Уэйншенк. – СПб.: Питер, 2016. – 290 с.
2. Уэйншенк, С. Интуитивный веб-дизайн / С. Уэйншенк. – СПб.: Эскмо, 2011. – 160 с.
3. Вострых, А.В. Анализ информационных систем, используемых в МЧС России для мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций / А.В. Вострых // Сервис безопасности в России: опыт, пробле-

мы, перспективы. Мониторинг, предотвращение и ликвидация чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: материалы междунар. науч.-практ. конф.; г. Санкт-Петербург, 28 октября 2021 г. – СПб.: Изд-во УГПС МЧС России, 2021. – С. 257–260.

4. Раскин, Д. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем / Д. Раскин. – М.: Символ, 2007. – 257 с.

5. Нильсен, Я. Веб-дизайн: анализ удобства использования веб-сайтов по движению глаз / Я. Нильсен, К. Перниче. – М.: Вильямс, 2012. – 480 с.

6. Нильсен, Я. Web-дизайн. Удобство использования Web-сайтов / Нильсен Я. – М.: Вильямс, 2009. – 368 с.

7. Купер, А. Основы проектирования взаимодействия / А. Купер. – СПб.: Питер, 2016. – 681 с.

8. Волошинов, А.В. Математика и искусство / А.В. Волошинов. – М.: Просвещение, 1992. – 344 с.

9. ГОСТ Р 50923-96 Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. – М.: Стандартинформ, 2008. – 10 с.

10. ГОСТ Р 50948-2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2002. – 13 с.

11. ГОСТ Р 50949-2001. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности. – М.: Стандартинформ, 2015. – 24 с.

12. Вострых, А.В. Терминологический базис оценки пользовательских интерфейсов: обзор стандартов / А.В. Вострых // Актуальные проблемы инфо-телекоммуникаций в науке и образовании: материалы IX Междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.; г. Санкт-Петербург, 26–27 февраля 2020 г. – СПб.: Изд-во СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2020. – Т. 2. – С. 200–207.

13. Круг, С. Как сделать сайт удобным. Юзабилити по методу Стива Круга / С. Круг. – СПб.: Питер, 2010. – 170 с.

14. Емельянова, Ю.Г. Методы комплексного оценивания когнитивных графических образов / Ю.Г. Емельянова, В.П. Фраленко, В.М. Хачумов // Программные системы: Теория и приложения. – 2018. – № 3. – С. 49–63.

15. Park, K.S. Human reliability: analysis, prediction, and prevention of human errors / K.S. Park. – Elsevier. New York, 1987. – 340 p.

16. Алефиренко, В.М. Инженерная психология / В.М. Алефиренко, Ю.В. Шамгин. – Минск: БГУИР, 2005. – 13 с.

17. Hartley, V.L. Transmission of information / V.L. Hartley // Bell System Technical Journal. – 1928. – P. 535–563.

18. Диковицкий, В.В. Формализация задачи построения когнитивных пользовательских интерфейсов мульти предметных ИР / В.В. Диковицкий // Информационные технологии. – 2013. – № 5. – С. 90–97.

19. Shannon, C.E. A mathematical theory of communication / C.E. Shannon // Bell System Technical Journal. – 1948. – P. 379–423.

20. Fitts, P.M. The information capacity of the human motor system in controlling / P.M. Fitts // Journal of Experimental Psychology. – 1954. – Vol. 47 (6). – P. 381–391.

21. Харкевич, А.А. Проблемы кибернетики / А.А. Харкевич. – М.: Физматгиз, 1960. – 57 с.

22. Горячкин, Б.С. Оценка выходных экранных форм автоматизированной системы обработки информации и управления / Б.С. Горячкин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 10. – С. 24–27.

23. Stickel, C. The XAOS metric – understanding visual complexity as measure of usability / C. Stickel, M. Ebner, A. Holzinger // 6th Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering on HCI in Work and Learning, Life and Leisure. – 2010. – P. 278–290.

References

1. Ueinshenk S. 100 novykh glavnykh printsiptov dizaina. Kak uderzhat' vnimanie [100 new main principles of design. How to keep your attention]. Saint Petersburg: Piter, 2016, 290 p.

2. Ueinshenk S. Intuitivnyi veb-dizain [Intuitive web design]. Saint Petersburg: Eskmo, 2011, 160 p.

3. Vostrykh A.V. Analiz informatsionnykh sistem, ispol'zuemykh v MChS Rossii dlia monitoringa i prognozirovaniia chrezvychainykh situatsii [Analysis of information systems used in the Ministry of Emergency Situations of Russia for monitoring and forecasting emergency situations]. *Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy. Monitoring, predot-*

vrashchenie i likvidatsiia chrezvychainykh situatsii prirodnogo i tekhnogen-nogo kharaktera. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi kon-ferentsii, Saint Petersburg, 28 Oktober 2021. Saint Petersburg: UGPS MChS Rossii, 2021, pp. 257-260.

4. Raskin D. Interfeis: novye napravleniia v proektirovanii komp'i-uternykh sistem [Interface: new directions in computer system design]. Moscow: Simvol, 2007, 257 p.

5. Nil'sen Ia., Perniche K. Veb-dizain: analiz udobstva ispol'zovaniia veb-saitov po dvizheniiu glaz [Web design: an analysis of the usability of websites by eye movement]. Moscow: Vil'iams, 2012, 480 p.

6. Nil'sen Ia. Web-dizain. Udobstvo ispol'zovaniia Web-saitov [The use of websites]. Moscow: Vil'iams, 2009, 368 p.

7. Kuper A. Osnovy proektirovaniia vzaimodeistviia [Fundamentals of interaction design]. Saint Petersburg: Piter, 2016, 681 p.

8. Voloshinov A.V. Matematika i iskusstvo [Mathematics and art]. Moscow: Prosveshchenie, 1992, 344 p.

9. GOST R 50923-96 Displei. Rabochee mesto operatora. Obshchie ergonomicheskie trebovaniia i trebovaniia k proizvodstvennoi srede. Metody izmereniia [GOST R 50923-96 Displays. The operator's workplace. General ergonomic requirements and requirements for the production environment. Measurement methods]. Moscow: Standartinform, 2008, 10 p.

10. GOST R 50948-2001 Sredstva otobrazheniia informatsii individu-al'nogo pol'zovaniia. Obshchie ergonomicheskie trebovaniia i trebovaniia bezopasnosti [GOST R 50948-2001 Means of displaying information for individual use. General ergonomic and safety requirements]. Moscow: Standartinform, 2002, 13 p.

11. GOST R 50949-2001. Sredstva otobrazheniia informatsii individu-al'nogo pol'zovaniia. Metody izmerenii i otsenki ergonomicheskikh parametrov i parametrov bezopasnosti [GOST R 50949-2001. Means of displaying information for individual use. Methods of measurement and evaluation of ergo-nomic and safety parameters]. Moscow: Standartinform, 2015, 24 p.

12. Vostrykh A.V. Terminologicheskii bazis otsenki pol'zovatel'skikh interfeisov: obzor standartov [Terminological basis for evaluating user interfaces: a review of standards]. *Aktual'nye problemy info-telekommunikatsii v nauke i obrazovanii. Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi i nauchno-metodicheskoi konferentsii,*

Saint Petersburg, 26-27 February 2020. Saint Petersburg: Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet telekommunikatsii imeni professora M.A. Bonch-Bruевича, 2020, vol. 2, pp. 200-207.

13. Krug S. Kak sdelat' sait udobnym. Iuzabiliti po metodu Stiva Kruga [How to make a website convenient. Usability by the method of Steve Krug]. Saint Petersburg: Piter, 2010, 170 p.

14. Emel'ianova Iu.G., Fralenko V.P., Khachumov V.M. Metody kompleksnogo otsenivaniia kognitivnykh graficheskikh obrazov [Methods of complex assessment of cognitive graphic images]. *Programmnye sistemy: Teoriia i prilozheniia*, 2018, no. 3, pp. 49-63.

15. Park K.S. Human reliability: analysis, prediction, and prevention of human errors. Elsevier. New York, 1987, 340 p.

16. Alefirenko V.M., Shamgin Iu.V. Inzhenernaia psikhologiiia [Engineering psychology]. Minsk: Belorusskii gosudarstvennyi universitet informatiki i radioelektroniki, 2005, 13 p.

17. Hartley V.L. Transmission of information. *Bell System Technical Journal*, 1928, pp. 535-563.

18. Dikovitskii V.V. Formalizatsiia zadachi postroeniia kognitivnykh pol'zovatel'skikh interfeisov mul'ti predmetnykh IR [Formalization of the task of building cognitive user interfaces of multi-subject IR]. *Informatsionnye tekhnologii*, 2013, vol. 5, pp. 90-97.

19. Shannon C.E. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 1948, pp. 379-423.

20. Fitts P.M. The information capacity of the human motor system in controlling. *Journal of Experimental Psychology*, 1954, vol. 47 (6), pp. 381-391.

21. Kharkevich A.A. Problemy kibernetiki [Problems of cybernetics]. Moscow: Fizmatgiz, 1960, 57 p.

22. Goriachkin B.S. Otsenka vykhodnykh ekrannykh form avtomatizirovannoi sistemy obrabotki informatsii i upravleniia [Evaluation of the output screen forms of an automated information processing and management system]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2016, no. 10, pp. 24-27.

23. Stickel C., Ebner M., Holzinger A. The XAOS metric - understanding visual complexity as measure of usability. *6th Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering on HCI in Work and Learning, Life and Leisure*, 2010, pp. 278-290.

Сведения об авторе

Вострых Алексей Владимирович (Санкт-Петербург, Российская Федерация) – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Прикладная математика и информационные технологии» Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 149, e-mail: a.vostrykh@list.ru).

About the author

Aleksey V. Vostrykh (Saint-Petersburg, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Senior lecturer department of applied mathematics and information technology of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149, e-mail: a.vostrykh@list.ru).

Поступила: 25.01.2024. Одобрена: 06.03.2024. Принята к публикации: 20.04.2024.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов по отношению к статье.

Вклад автора. 100 %.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Вострых, А.В. Алгоритм оценки влияния внешних факторов и раздражителей на эффективность восприятия графических пользовательских интерфейсов / А.В. Вострых // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2024. – № 49. – С. 82–104. DOI: 10.15593/2224-9397/2024.1.05

Please cite this article in English as:

Vostrykh A.V. An algorithm for evaluating the influence of external factors and stimuli on the effectiveness of perception of graphical user interfaces. *Perm National Research Polytechnic University Bulletin. Electrotechnics, information technologies, control systems*, 2024, no. 49, pp. 82-104. DOI: 10.15593/2224-9397/2024.1.05