

Сверчков Д.С.  
ЗАО «ЦНИИ СМ», Санкт-Петербург, Россия

## РАЗРАБОТКА ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

В статье описаны различные типы человеко-машинных интерфейсов, области применения каждого интерфейса, этапы разработки человеко-машинного интерфейса и приведен пример реализации человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) для системы управления (СУ).

**Ключевые слова:** человеко-машинный интерфейс, ЧМИ, система управления

Автор заявляет об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Сверчков Д.С. Разработка человеко-машинного интерфейса и его применение в системах управления. 2018; специальный выпуск 1: 184–190.

УДК 681.3.06+681.327.8

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-184-190

Sverchkov D.  
JSC «Central Research Institute of Marine Engineering», St. Petersburg, Russia

## HUMAN-MACHINE INTERFACE DEVELOPMENT AND APPLICATION IN CONTROL SYSTEMS

The paper describes various types of human-machine interfaces, fields of application for each HMI type, and phases of HMI development, an example of HMI implementation in control system is given.

**Key words:** human-machine interface, HMI, control system.

Author declares lack of the possible conflicts of interests.

For citations: Sverchkov D. Human-machine interface development and application in control systems. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018; special issue 1: 184–190 (in Russian).

UDC 681.3.06+681.327.8

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-S-I-184-190

Понятие «интерфейс» отражает формы, средства и возможности обеспечения взаимодействия двух или более систем (их компонентов) между собой независимо от их физической или ментальной природы в процессе достижения их целей.

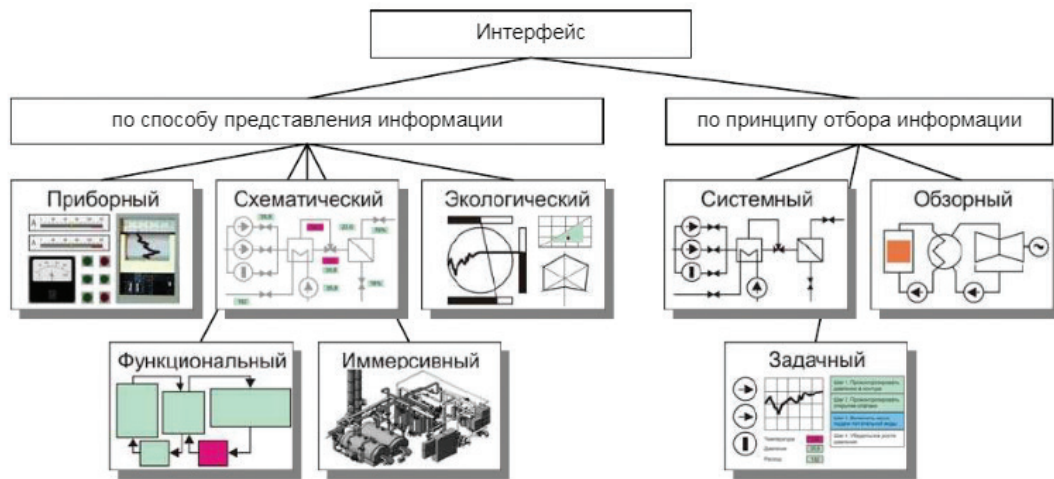
Человеко-машинный интерфейс – это методы и средства обеспечения непосредственного взаимодействия между оператором и технической системой, предоставляющие возможности оператору управлять этой системой и контролировать ее работу. Обычно именно этот термин используется по отношению к взаимодействию между оператором и программным обеспечением ЭВМ, с которым он работает.

Управление сложной техникой предъявляет требования к хорошо продуманному пользовательскому интерфейсу, обеспечивающему эффективную и безопасную эксплуатацию объекта управления.

Классифицируя ЧМИ, следует различать способы представления и принципы отбора информации (рис. 1).

По способу представления информации можно выделить следующие типы:

1. Приборный интерфейс (рис. 2) – информация представляется в виде аналоговых и цифровых приборов, индикаторных лампочек, табло и т.п. В качестве органов управления используются ключи, рычаги и кнопки. Положительной стороной является то, что все приборы одновременно доступны оператору, они содержат динамические элементы и дают наглядное представление о системе.
2. Схематический интерфейс (рис. 3). Характерной чертой данного интерфейса является высокая степень концентрации элементов управления и визуализации. Состояние оборудования отображается либо цветом, либо специальными символами. Сильной стороной такого интерфейса является то, что вся информация по системе собрана в одном месте, что облегчает ее визуальный поиск.
3. Экологический интерфейс (рис. 4) составляется не только из отдельных элементов, но и из об-



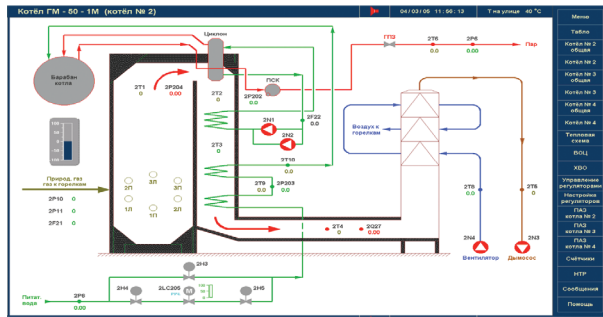
**Рис. 1.** Классификация интерфейсов оператора  
**Fig. 1.** Classification of operator interfaces



**Рис. 2.** Приборный интерфейс  
**Fig. 2.** Dashboard interface



**Рис. 4.** Экологический интерфейс  
**Fig. 4.** Ecological interface



**Рис. 3.** Схематический интерфейс  
**Fig. 3.** Schematic interface

разов более высокого порядка, отражающих, например, физические закономерности среды. Визуализация процессов является наиболее популярным приложением идеи экологического интерфейса. Цель такой визуализации – ускорить сопоставление величин.

4. Функциональный интерфейс (рис. 5) основан на функционально-ориентированной философии управления. Данный подход позволяет переключить внимание оператора с контроля над состоянием различных подсистем на контроль над выполнением общих для этих подсистем функций. Сильной стороной функционального интерфейса является возможность быстро оценить состояние технологического процесса и достаточность задействованного оборудования.
5. Иммерсивный интерфейс (рис. 6) – максимально правдоподобное воспроизведение реального мира, называемое также виртуальной реальностью. Мнемосхема, воспроизводящая условный образ объекта, также является элементом иммерсивной среды.

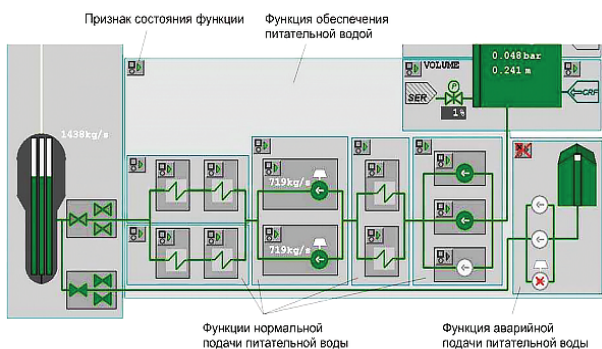


Рис. 5. Фрагмент видеокadra с функциональным интерфейсом

Fig. 5. Screenshot of functional interface

Для компьютеризированного интерфейса важной характеристикой является принцип отбора информации для наполнения одного видеокadra. По отбору информации существуют три основных представления:

- обзорные интерфейсы решают задачу быстрой оценки состояния системы. Отображаемая информация проходит ранжирование и фильтрацию;
- задачные интерфейсы содержат информацию, релевантную текущей задаче;
- системные интерфейсы предназначены для представления информации по выбранной изолированной системе.

По итогам рассмотрения различных типов интерфейсов было принято решение разрабатывать комбинированный интерфейс, содержащий в себе элементы функционального и иммерсивного интерфейсов. По принципу отбора информации интерфейс является системным.

Этапы проектирования человеко-машинного интерфейса:

#### 1. Проектирование:

- функциональные требования – определение цели разработки и исходных требований;
- анализ пользователей – определение потребностей пользователей, разработка сценариев, оценка соответствия сценариев ожиданиям пользователей;
- концептуальное проектирование – моделирование процесса, для которого разрабатывается приложение;
- логическое проектирование – определение информационных потоков в приложении;
- физическое проектирование – выбор платформы, на которой будет реализован проект, и средств



Рис. 6. Иммерсивный интерфейс

Fig. 6. Immersion interface

разработки.

#### 2. Реализация:

- прототипирование – разработка бумажных и/или интерактивных макетов экранных форм;
- конструирование – создание приложения с учетом возможности изменения его дизайна.

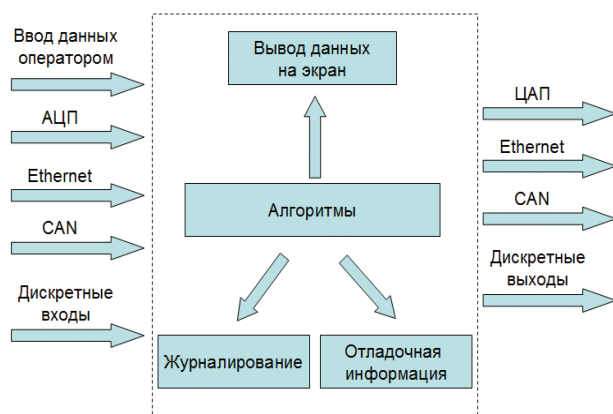
#### 3. Тестирование:

- юзабилити-тестирование – тестирование приложения различными пользователями, в т.ч. и пользователями с ограниченными возможностями (англ. accessibility testing).

Проектирование – процесс определения архитектуры, компонентов, интерфейсов и других характеристик системы или её части (ISO 24765). Результатом проектирования является проект – целостная совокупность моделей, свойств или характеристик, описанных в форме, пригодной для реализации системы. Наряду с анализом требований, проектирование является частью большой стадии жизненного цикла системы, называемой определением системы (англ. system definition). Результаты этой стадии являются входной информацией для стадии реализации (воплощения) системы (англ. system realization).

Проектирование системы направлено на представление системы, соответствующее предусмотренной цели, принципам и замыслам; оно включает оценку и принятие решений по выбору таких компонентов системы, которые отвечают её архитектуре и укладываются в предписанные ограничения.

Функциональные требования определяют функциональность (поведение) программной системы, которая должна быть создана разработчиками для предоставления возможности выполнения пользо-



**Рис. 7.** Концептуальное проектирование  
**Fig. 7.** Conceptual design

вателями своих обязанностей в рамках технического задания и в контексте пользовательских требований. Разрабатываемая программа должна реализовать следующие функциональные возможности:

- обмен данными в реальном времени через интерфейсы;
- обработка информации в реальном времени;
- логическое управление объектом;
- отображение информации на экране;
- ведение архива;
- аварийная сигнализация и управление сообщениями о неисправностях;
- контроль команд оператора и запрет их исполнения, если команда не отвечает алгоритму функционирования объекта.

С момента запуска программа с заданным интервалом считывает из разделяемой памяти данные, полученные от модулей ввода/вывода. Принятые данные проверяются на валидность и анализируются. В зависимости от этого определяются: цвет, текст, отображаемый на индикаторах, и положение элементов рисунков на активных страницах. При отсутствии обновления данных за заданный промежуток времени, происходит оповещение оператора сообщением «Нет обмена».

При запуске программа запускает графический интерфейс на начальной странице. Полученные данные отображаются на индикаторах графической части программы. Оператор выбирает «Режим», «Операцию» и «Вид операции». В зависимости от его выбора программа выводит выбранную страницу на экран.

В режиме «Автоматический» оператор может управлять объектом с помощью элементов управления – физической клавиатуры на передней пане-

ли пульта управления, а также виртуальных органов управления. Для каждой страницы создан специальный набор элементов, обеспечивающий выполнение данной технологической операции.

В режиме «Настройка» предусматриваются специальные технологические операции, защищённые кодом доступа. Они дают возможность настройки отдельных исполнительных механизмов, при этом часть блокировок отключается. Режим «Резервный» предназначен для непосредственного управления ограниченным количеством исполнительных механизмов в случае отказа устройств СУ. Команды, выбираемые оператором с помощью элементов управления, передаются в СУ.

Техническим заданием определено, что управление объектом должно осуществляться одним оператором. Для выполнения этого требования часть СУ представляет собой программируемые контроллеры, управляющие в автоматическом или полуавтоматическом режиме работой всех исполнительных механизмов на основании анализа показаний датчиков (давления, угла, положения и т.д.).

На этапе логического проектирования требуется построить модель, в которой будут показаны логические потоки, используемые в работе разрабатываемого программного оборудования (ПО). Для каждого потока обычно определяется примерный тип данных (рис. 7).

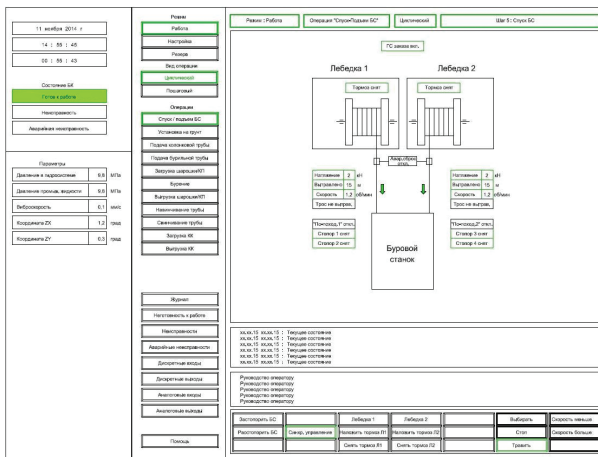
После построения логических схем следует перейти к физическому проектированию, где для реализации каждого потока будет предложено аппаратное решение, определена аппаратная часть изделия. Она выбирается для реализации потоков, необходимых для работы системы управления, исходя из схем, полученных на этапе логического проектирования.

Программная часть должна выбираться исходя из требований к системе управления.

В качестве платформы для построения отказоустойчивой системы управления, на базе которой было реализовано программное обеспечение, была выбрана ОС жесткого реального времени QNX 4.25. Использование данной ОС позволяет применять разработанное ПО как на PC-модулях различного формата, так и на миниатюрных контроллерах. Целевое программное обеспечение было реализовано для использования на CPC 304 – встраиваемом одноплатном компьютере стандарта PC/104-Plus.

PC/104Plus – шина расширения, построенная на основе PCI, пришла на замену PC/104. Отличительная особенность: разъёмы сделаны не с краю платы, а перпендикулярно ей, что позволяет крепить платы





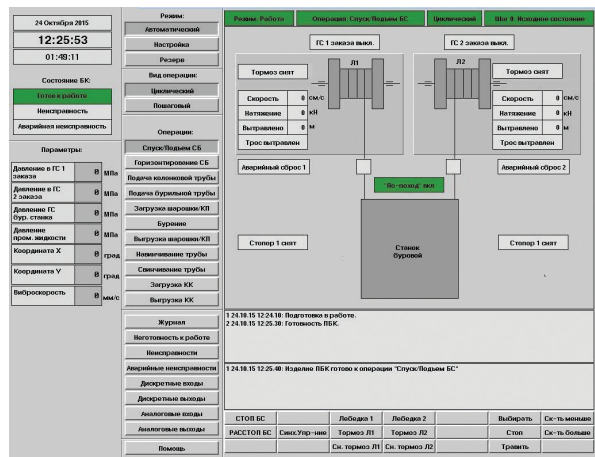
**Рис. 8.** Прототип графического интерфейса  
**Fig. 8.** Graphical interface prototype

слоями друг на друга. Благодаря этому можно разместить от 3 до 6 плат, собранных в одну конструкцию, в компактном герметичном корпусе, который будет иметь большую ударопрочность. Такие шины широко применяются в авионике, космонавтике, военной технике.

Исходным языком программы ПО ПУБК является Си (стандарт C89). Среда разработки – Watcom C/C++ v.10.6 с использованием пакета Photon Application Builder – визуального средства разработки приложений для графической системы QNX Photon microGUI.

На этапе реализации объединяются все требования, которые были сформулированы на этапе проектирования. Проводится прототипирование интерфейса (рис. 8) – прорабатывается внешний вид ЧМИ, моделируется бумажный вариант, наглядно демонстрирующий подготовленное решение. Прототип дает возможность увидеть предварительный результат, глубже вникнуть в проблему, и в результате принять верные проектные решения. Такие решения могут затрагивать все части системы: организацию рабочего пространства на видеокарде, элементы интерфейса, органы управления, контроль доступа и понятность ЧМИ.

После утверждения прототипа начинается этап конструирования ЧМИ – перенос бумажного прототипа в программный продукт, написание кода приложения, интеграция на аппаратную. Обычно это занимает около 40 % времени, потраченного на разработку ПО. Самым долгим процессом является отладка.



**Рис. 9.** Общий вид графического интерфейса  
**Fig. 9.** General view of graphical interface

В результате появляется готовая версия ПО.

Внутри процесса реализации, наряду с расчетными этапами и экспериментальными исследованиями, часто выделяют процесс конструирования.

Конструирование – деятельность по созданию материального образа разрабатываемого объекта, ему свойственна работа с натурными моделями и их графическими изображениями (чертежи, эскизы, компьютерные модели). Эти модели и изображения, а также некоторые виды изделий называют конструкциями. На рис. 9 представлен снимок экрана реализованного приложения.

Логически программа PUBK может быть разделена (рис. 10) так:

- динамическая часть интерфейса задается кнопками «Режим», «Вид операции» и «Операции»;
- статическая часть задается кнопками «Режим», «Вид операции» и «Операции».

Статическая часть интерфейса программы постоянно отображается на экране. На ней располагаются кнопки выбора текущей операции, режима, дополнительные кнопки, а также поля, необходимые оператору во время любой операции. Для удобства работы оператора информация, отображаемая на индикаторах, выделяется определенными цветами, соответствующими требованиям ГОСТ Р МЭК 60073 - 20001 (см. таблицу).

1 ГОСТ Р МЭК 60073-2000 Интерфейс человеко-машинный. Маркировка и обозначение органов управления и контрольных устройств. Правила кодирования информации

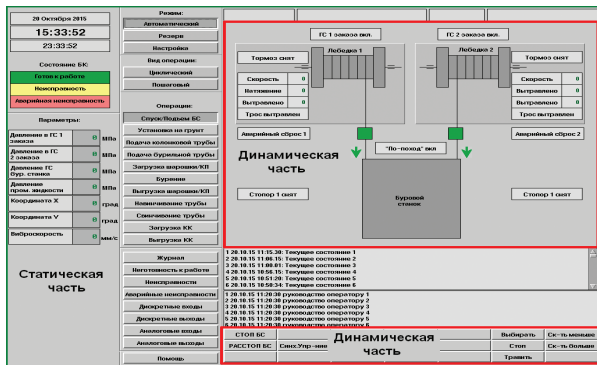


Рис. 10. Логическая структура графического интерфейса

Fig. 10. Logic structure of graphical interface

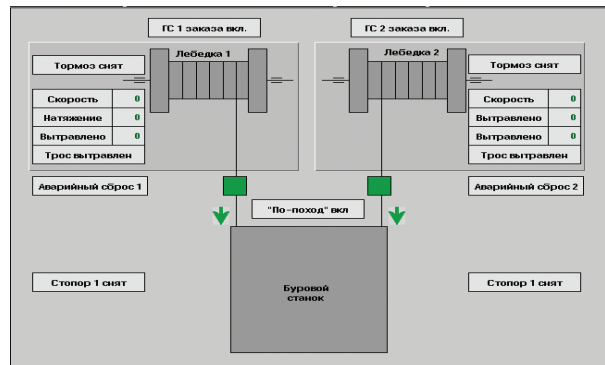


Рис. 11. Текущая страница

Fig. 11. Current page

Таблица. Требования ГОСТ Р МЭК 60073 - 2000

Table. Requirements of GOST R IEC 60073 - 2000

Цвет	Смысловое значение		
КРАСНЫЙ	Безопасность для людей или оборудования	Состояние процесса	Состояние оборудования
ЖЕЛТЫЙ	Опасность	Критическое состояние	Неисправность
ЗЕЛЕНЫЙ	Внимание	Переходное (изменение условий или состояние, предшествующее изменению условий)	Переходное (изменение условий или состояние, предшествующее изменению условий)
СИНИЙ	Безопасность	Нормальное	Нормальное
БЕЛЫЙ, СЕРЫЙ	Специальное (может иметь любое значение, кроме функционального для красного, желтого и зеленого цветов)		
	Не имеют специального значения		

Динамическая часть интерфейса программы отображает выбранную оператором страницу, зависит от нажатых кнопок «Режим», «Вид операции», «Операции» и включает следующие составляющие:

- текущая страница (рис. 11);
- набор кнопок для выбранной страницы (рис. 12).

На текущей странице содержится вся необходимая оператору информация для выполнения выполняемой операции: индикаторы, динамические рисунки, комментирующие данный этап работы. Элементы рисунка, расположенного на текущей странице, могут перемещаться и видоизменяться, отображая текущий этап выполняемого алгоритма. Данный набор кнопок позволяет оператору осуществ-

лять управление изделием ПБК в соответствии с текущей операцией. Благодаря модульной структуре операции могут быть легко добавлены, изменены или удалены. Таким образом, разработанный интерфейс может быть в дальнейшем использован для построения любых других ЧМИ и использования в СУ различных сложностей.

В статье мы рассмотрели различные типы человеко-машинных интерфейсов, области их применения. Привели пример процесса разработки ЧМИ, работающего под управлением ОС QNX 4.25 и предназначенного для обеспечения сбора, обработки, отображения, архивирования информации об объекте и управлении им в реальном времени.

СТОП БС		Лебедка 1	Лебедка 2		Выбирать	Ск-ть меньше
РАССТОП БС	Синх.Упр-ние	Тормоз Л1	Тормоз Л2		Стоп	Ск-ть больше
		Сн. тормоз Л1	Сн. тормоз Л2		Травить	

**Рис. 12.** Набор кнопок для выбранной страницы  
**Fig. 12.** Set of buttons for chosen page

## Библиографический список

### References

1. Корнеев Н.В., Минитаева А.М. Человеко-машинный интерфейс как важнейший компонент архитектуры перспективных эргатических систем управления // Ученые записки РГСУ. 2012. № 7(107). С. 93–97. [Korneev N.V., Minitaeva A.M. Human-machine interface as the essential component of advanced ergatic control system architecture // Uchenye zapiski RGSU. 2012; 7(107): 93–7. (In Russian)].
2. Сергеев С.Ф., Падерно П.И., Назаренко Н.А. Введение в проектирование интеллектуальных интерфейсов. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. [Sergeev S.F., Paderno P.I., Nazarenko N.A. Introduction to design of intelligent interfaces. SPb.: SPbGU ITMO, 2011. (In Russian)].
3. Докучаев А. Подходы к разработке человеко-машинных интерфейсов [Электрон. ресурс] / Сайт ООО «СВД Встраиваемые Системы». URL: [http://www.kpda.ru/upload/iblock/fcf/dokuchaev\\_hmi\\_development.pdf](http://www.kpda.ru/upload/iblock/fcf/dokuchaev_hmi_development.pdf) [Dokuchaev A. Approaches to human-machine interfaces [electronic resources] / Website ООО SVD Vstravatmye Sistemy. URL: [http://www.kpda.ru/upload/iblock/fcf/dokuchaev\\_hmi\\_development.pdf](http://www.kpda.ru/upload/iblock/fcf/dokuchaev_hmi_development.pdf) (In Russian)].
4. Анохин А.Н., Ивкин А.С. Человеко-машинный интерфейс для поддержки когнитивной деятельности операторов АС // Ядерные измерительно-информационные технологии. 2012. № 1(41). С. 57–66. [Anokhin A.N. Ivkin A.S. Human-machine interface to support operator's cognitive activity Nuclear measurement & info technologies. 2012; 1(41): 57–66. (In Russian)].
5. Купер А., Рейман Р., Кронин Д. Об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия. СПб.: Сим-

вол Плюс, 2009. [Alan Cooper, Robert Reimann, Dave Cronin. The Essentials of Interaction Design. SPb.: Simvol Plus, 2009. (Russian Translation)].

6. Этапы разработки пользовательского интерфейса [Электрон. ресурс] / Сайт «Учебно-методические материалы для студентов кафедры АСОИУ». URL: <http://www.4stud.info/user-interfaces/stages-of-development-user-interface.html/> Phases of user interface development [electronic resources] / Website Uchebno-metodicheskie materialy dlya studentov kafedry ASOIU. URL: <http://www.4stud.info/user-interfaces/stages-of-development-user-interface.html/> (In Russian)].
7. Сергеев С.Ф. Методологические проблемы человеко-машинного интерфейса // XII Всероссийское совещание по проблемам управления, ВСПУ-2014. Москва, 16–19 июня 2014. С. 6414–6421. [Sergeev S.F. Methodological issues of human-machine interface. XII All-Russian conference on control issues. VSPU-2014. Moscow, 16–19 June 2014. P. 6414–21. (In Russian)]. ГОСТ 21829–76 Система «человек – машина». Кодирование зрительной информации. Общие эргономические требования. GOST. [21829–76 Man-machine system. Coding of visual information. General ergonomic requirements. (In Russian)].
8. Sverchkov D.S, software engineer JSC TsNII SM. Address: ul. Krupskoi 2a, St. Petersburg, 192029, Russia. Tel.: +7 (905) 235-53-78; E-mail: virus\_ds@mail.ru.

### Сведения об авторе

Сверчков Денис Сергеевич, инженер-программист ЗАО «ЦНИИ СМ». Адрес: 192029, Россия, Санкт-Петербург, ул. Крупской, д. 2а. Тел.: +7 (905) 235-53-78; E-mail: virus\_ds@mail.ru.

### About the author

Sverchkov D., software engineer JSC TsNII SM. Address: ul. Krupskoi 2a, St. Petersburg, 192029, Russia. Tel.: +7 (905) 235-53-78; E-mail: virus\_ds@mail.ru.

Поступила / Received: 14.02.18  
Принята в печать / Accepted: 18.04.18  
© Сверчков Д.С., 2018