



## ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА ОПЕРАТОРА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

*Рябенский В.М., Ушкаренко А.О.*

*Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова (г. Николаев)*

*Рассмотрены принципы математического описания элементов пользовательских интерфейсов автоматизированных рабочих мест операторов судовых электроэнергетических систем для определения компонентного и структурного состава интерфейсов автоматизированных рабочих мест при проектировании человеко-машинных систем, а также выполнения анализа процессов преобразования информации при взаимодействии автоматизированного рабочего места оператора со всеми подсистемами автоматизированной системы управления. Предложен метод формализации процесса работы оператора с экранными элементами управления. Разработана структурно-функциональная модель системы измерения и мониторинга параметров синхронного генератора. Определены правила описания функциональных структур на различных уровнях декомпозиции системы мониторинга и управления судовой электроэнергетической установкой. Наличие аналитической модели интерфейса пользователя позволяет оценить его полноту и непротиворечивость, определить отношения и типы связей между подсистемами управления и визуализации, а также описать функциональные возможности элементов отдельных подсистем и алгоритмы обработки данных. Преимуществом предлагаемого в работе подхода является возможность использования различных уровней декомпозиции для описания подсистем и элементов АСУ, что позволяет выделить наиболее важные аспекты описания на различных стадиях проектирования и анализа системы. Рассмотренный подход обладает объектно-ориентированным стилем описания, содержит информацию о структуре и типах информационных связей между составляющими систему элементами. Представленные в явном виде обозначения элементов пользовательского интерфейса, элементов преобразования информации остаются прозрачными для разработчика и содержат информацию о поведении элементов, требованиях к взаимодействию и их функциональных возможностях.*

*Ключевые слова: судовой электроэнергетической системы, АРМ оператора, структурно-функциональная модель, интерфейс.*

**Введение.** Современные автоматизированные системы управления (АСУ) электроэнергетическими установками – это человеко-машинные системы, в которых с помощью технических средств обеспечивается сбор, накопление, обработка информации, формирование оптимальной стратегии управления и выдача результатов человеку или группе людей, принимающих решение по управлению. С целью обеспечения возможности взаимодействия человека с компьютером в интерактивном режиме появляется необходимость реализовать в рамках АСУ автоматизированное рабочее место (АРМ), которое представляет собой совокупность различных взаимосвязанных подсистем. Для получения эффективного результата разработки пользовательского интерфейса используется системный подход, при котором пользователь рассматривается как интеллектуальная часть системы «человек–программный продукт» [1]. При этом должны быть проанализированы вопросы взаимодействия человека с компьютером с точки зрения эргономики, учтены психологические и психофизиологические характеристики пользователя с целью повышения эффективности пользовательского интерфейса [2, 3], а экранные органы управления удовлетворяют ряду требований, рассмотренных в работе [1]. На ранних этапах проектирования АРМ оператора сложность разработки пользовательского интерфейса обусловлена невозможностью подключения реального оборудования, а в случае наличия такой возможности – небезопасностью искусственного создания всевозможных, в том числе и аварийных ситуаций. Неправильное функционирование подсистемы управления или ее части может принести значительный ущерб. Предложенный в работе [4] подход является одним из наиболее подходящих методов решения этой проблемы, поскольку представляет собой имитационный стенд, реализованный на нескольких компьютерах и содержащий набор основных подсистем



автоматизированной системы управления. В состав имитационного стенда включена подсистема визуализации, и результат работы модели отображается на мониторе так же, как и в реальной системе в определяемом моделями объеме. Недостатком предложенной в работе [4] модели является отсутствие формального описания подсистемы визуализации. Рассмотренный в работе [5] метод синтеза математических моделей логико-динамических процессов контроля и управления может быть расширен и использован для аналитического описания пользовательских интерфейсов программ. Наличие аналитической модели интерфейса пользователя позволит оценить его полноту и непротиворечивость, определить отношения и типы связей между подсистемами управления и визуализации, а также описать функциональные возможности элементов отдельных подсистем и алгоритмы обработки данных. Преимуществом предлагаемого в работе подхода является возможность использования различных уровней декомпозиции для описания подсистем и элементов АСУ, что позволяет выделить наиболее важные аспекты описания на различных стадиях проектирования и анализа системы.

**Цель работы.** Целью работы является разработка метода описания пользовательского интерфейса автоматизированного рабочего места оператора для определения компонентного и структурного состава интерфейсов автоматизированных рабочих мест при проектировании человеко-машинных систем, а также выполнения анализа процессов преобразования информации при взаимодействии АРМ оператора со всеми подсистемами АСУ.

**Основной материал.** Пользовательский интерфейс любой сложной системы составляется из комбинации типовых элементов ввода и вывода данных в различных формах – текстовой, графической, звуковой. Использование специализированных графических элементов (визуальных метафор) для отображения контролируемых параметров придает информации принципиально новое качество динамичности, т.е. способности к быстрой перестройке и непосредственному ее использованию в решаемых задачах управления. В случае необходимости имеется возможность быстро представить любую выборку из этой информации, например путем построения адаптивных пользовательских интерфейсов [6, 7], использованием цветового кодирования отображаемой информации и анимированных изображений.

Интерфейс автоматизированного рабочего места оператора электроэнергетической системы в данной работе рассматривается как множество функциональных структур, под которыми понимается закон связи между функциональными элементами процесса деятельности. Под элементами понимаются локализованные в пространстве и времени активности, в смысле направленных действий или фаз процесса деятельности [8]. В системном описании пользовательского интерфейса опорными точками служат: типология элементов (ввод данных, текстовое или графическое отображение информации); типы связей между элементами, характеризующие порядок взаимодействия элементов (входные связи для графических элементов отображения информации, выходные связи для графических элементов управления).

На рис. 1 представлена модель АРМ оператора, разработанная в среде Matlab для моделирования процесса управления и мониторинга параметров судового дизель-генератора, который входит в состав электроэнергетической установки [4]. Среди графических элементов пользовательского интерфейса можно выделить основные и производные, главные и второстепенные; разным уровням функциональной структуры соответствуют и разные группы элементов.

При помощи экранных органов управления на модели контролирующего оборудования (в данном случае это два блока «Generic Knob» и три кнопки – «Square Red») задаются требуемые значения частоты напряжения (оборотов дизеля) и величина линейного напряжения на обмотках статора синхронного генератора. Экранные кнопки используются для подключения к генератору различной нагрузки. В свою очередь, выполняется мониторинг таких параметров, как ток и напряжение статора генератора,



обороты дизеля, частота напряжения сети и мощность, потребляемая нагрузкой (абсолютное значение мощности и относительное, в процентах от номинальной мощности генератора) путем визуализации указанных величин с помощью виртуальных объектов на экране (семисегментный индикатор, стрелочный прибор, линейный индикатор). Также используется виртуальный осциллограф для отслеживания характера изменения контролируемых параметров объекта.

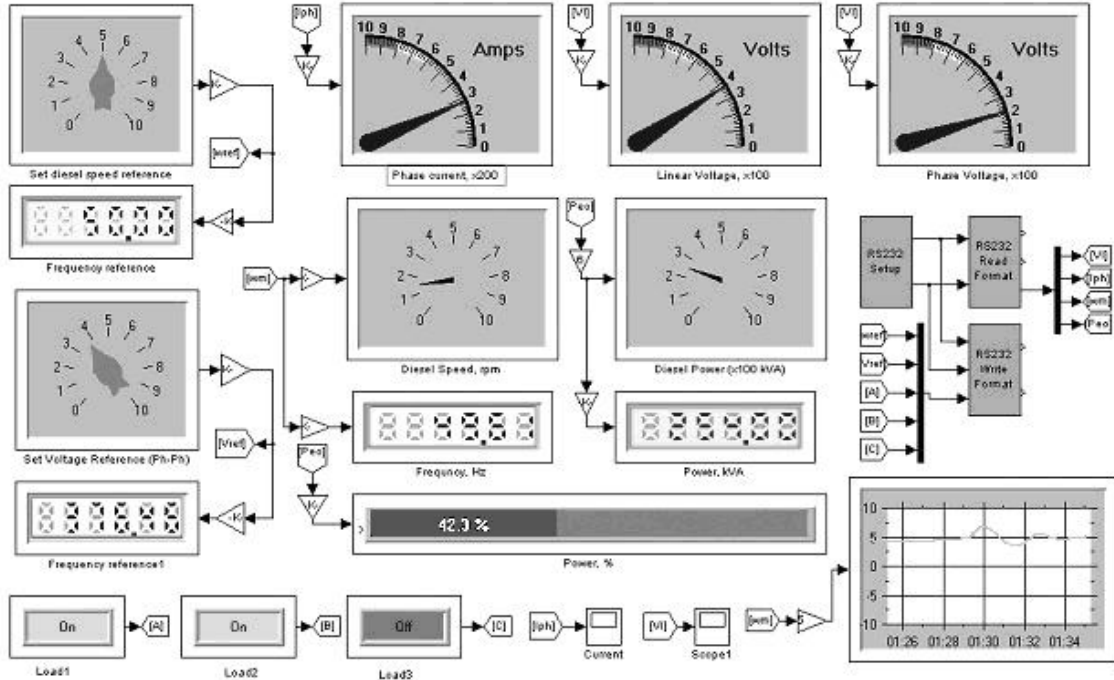


Рисунок 1 – Модель АРМ оператора

На рис. 2 представлен элемент пользовательского интерфейса, выполняющий роль экранного органа управления опорным значением напряжения генератора. Оператор с помощью манипулятора типа «мышь» имеет возможность изменить положение вращательного регулятора. Это действие можно описать выражением  $f_1(\text{Mouse}^{\text{Core}}_{\uparrow\downarrow} U)$ , в котором Mouse означает тип манипулятора «мышь», Core – задаваемый оператором параметр используется вычислительным ядром микроконтроллера для расчета и моделирования управляющего воздействия на объект управления (систему возбуждения синхронного генератора). Символы « $\uparrow\downarrow$ » означают, что изменение параметра может происходить как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения значения. Символ U несет информацию про задаваемый параметр – напряжение генератора.

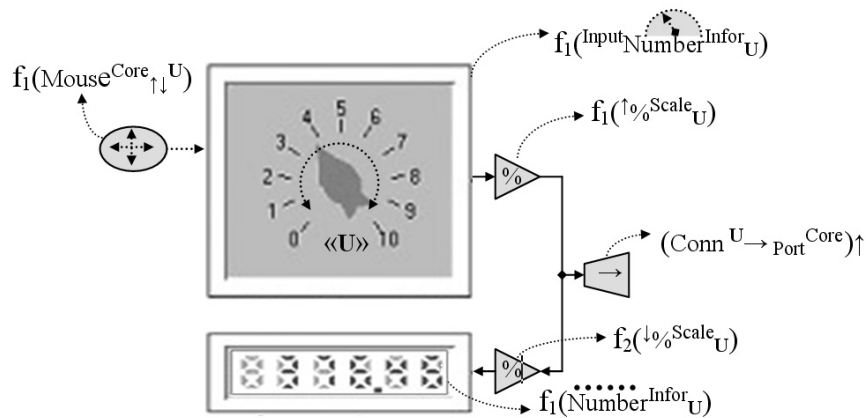


Рисунок 2 – Аналитическое описание элементов пользовательского интерфейса



Установленное с помощью экранного органа управления значение масштабируется. Эта операция описывается выражением  $f_1(\uparrow \%^{Scale}_U)$ , в котором обозначение  $\%^{Scale}$  описывает выполнение процедуры масштабирования, символ « $\uparrow$ » в верхнем индексе означает, что полученное значение увеличивается. Выражение  $f_2(\downarrow \%^{Scale}_U)$  описывает операцию масштабирования, однако результирующее значение уменьшается. В данном случае это необходимо чтобы подготовить данные для отображения на виртуальном индикаторе – семисегментном индикаторе, который описывается выражением  $f_1(\overset{\dots\dots}{Number} \cdot Infor_U)$ . В этом выражении Infor означает, что виртуальный объект на экране выполняет функцию отображения информации о значении напряжения генератора (U) с помощью 6-ти позиционного числового индикатора (Number). Это необходимо для дополнительного контроля оператором процесса ввода и преобразования данных, а также установки параметра с заданной точностью. Масштабирование выполняется для удобства передачи данных между узлами сети с использованием промышленных интерфейсов и протоколов.

Процесс работы оператора с экранным элементом управления (вращательным регулятором) для установки требуемого значения напряжения генератора можно представить в виде:

$$f_1(Mouse^{Core \uparrow \downarrow}_U) \rightarrow f_1(Input\ Number^{Infor}_U) \rightarrow f_1(\downarrow \%^{Scale}_U) \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow (Conn^U \rightarrow Port^{Core}) \uparrow \\ \rightarrow f_2(\uparrow \%^{Scale}_U) \rightarrow f_1(\overset{\dots\dots}{Number}^{Infor}_U) \end{array} \right. \quad (1)$$

Выражение  $(Conn^U \rightarrow Port^{Core}) \uparrow$  описывает выходную связь (символ « $\uparrow$ ») между экранным элементом управления, с помощью которого выполняется управление напряжением генератора ( $Conn^U$ ), и элементом, представляющим собой входной порт микропроцессорной системы ( $Port^{Core}$ ), выполняющей обработку введенного оператором значения и формирование управляющего воздействия на локальные системы управления.

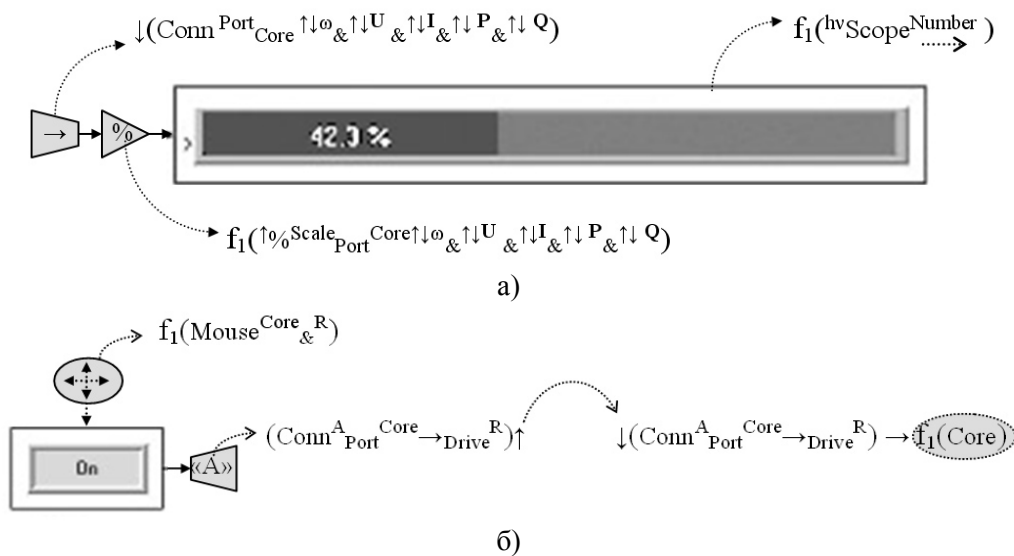


Рисунок 3 – Графические элементы интерфейса и их аналитическое описание:  
а) – линейный индикатор; б) – экранная кнопка

На рис. 3а, представлен элемент управления «линейный индикатор», который используется для отображения информации о величине отдаваемой генератором активной мощности в виде шкалы (в процентах от номинальной мощности генератора), а на рис. 3б – элемент управления «экранная кнопка», которая представляет собой переключатель с двумя положениями вкл/выкл, и используется для управления нагрузкой.

Экранный элемент отображения информации «линейный индикатор» связан ( $Conn$ ) с выходным портом микропроцессорной системы ( $Port_{Core}$ ). Кроме информации об



активной мощности, входная связь также содержит информацию и (&) о частоте ( $\omega$ ), напряжении ( $U$ ), токе ( $I$ ), активной мощности ( $P$ ), реактивной мощности ( $Q$ ), значения которых оператор может как увеличивать, так и уменьшать (« $\uparrow\downarrow$ »). Символ « $\downarrow$ » несет информацию о направлении данных и означает, что данные передаются в элемент управления для их отображения. Аналитическая запись  $f_1(^{hv}Scope^{Number})$  означает, что информацию в виде числового значения (Number) и дискретно изменяющейся шкалы ( $\dots >$ ) оператор получит визуально, через зрительный анализатор ( $^{hv}Scope$ ). Увеличение значения отображаемого индикатором параметра приводит к заполнению рабочей области индикатора системным цветом в направлении слева направо.

Элемент управления «экранный кнопка» позволяет оператору выполнять операции (включение, отключение и т. п.) с отдельными объектами оборудования и группами объектов. Аналитическая запись действий оператора при работе с этим элементом управления содержит информацию о типе нагрузки (активная нагрузка обозначается символом R, индуктивная символом L, активно-индуктивная символами RL и т.д.), типе манипулятора, с помощью которого выполняется управление (Mouse – «мышь»), и подсистему, в которую передается информация о состоянии экранной кнопки (Core – микропроцессорная система управления).

Таким образом, предложенное аналитическое представление экранных элементов управления и действий оператора содержит описание трех основных частей пользовательского интерфейса [1]:

- визуальное (звуковое, тактильное) оформление, отвечающее за представление информации оператору о вводимых и контролируемых параметрах в текстовом, графическом, мнемоническом и других видах;
- функциональные возможности системы, включающие набор возможностей для выполнения профессиональной деятельности;
- техники взаимодействия оператора с системой (мышь, клавиатура, трекбол, джойстик, сенсорный экран и др.)

При этом функциональность системы рассматривается в тесной связи с пользовательским интерфейсом и элементами взаимодействия пользователя с системой.

На рис. 4 представлено описание логико-динамического процесса измерения действующего значения линейного напряжения генератора, и визуализации измеренного значения с помощью виртуального осциллографа в среде Matlab Simulink.

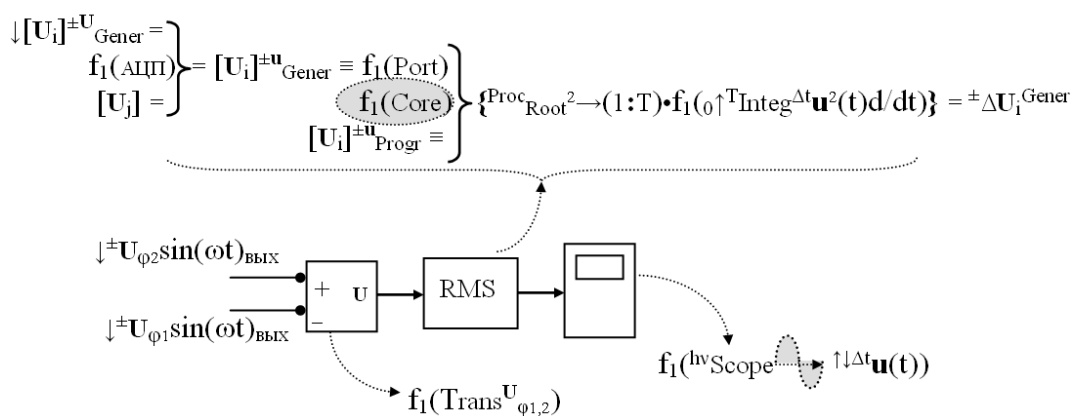


Рисунок 4 – Формализация процесса измерения действующего значения напряжения

Аналитическое выражение  $f_1(Trans^U_{\phi_{1,2}})$  описывает функциональную структуру измерительного трансформатора напряжения. При рассмотрении этого элемента системы в виде «черного ящика», скрываются его детали реализации. Этот элемент содержит также аналого-цифровой преобразователь (АЦП), арифметическое устройство, выполняющее расчет разницы мгновенных значений фазных напряжений ( $U_{\phi 1}$  и  $U_{\phi 2}$ ) для



определения величины линейного напряжения ( $u=U_{\phi 1,2}$ ). Элемент «RMS» выполняет расчет действующего значения линейного напряжения  $U_{AB}$  в соответствии с выражением:

$$U_{AB} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} .$$

Аналитическая запись  ${}^{\text{Proc}}\text{Root}^2$  описывает процедуру нахождения квадратного корня. Процедура интегрирования (Integr) в пределах одного периода ( $0 \uparrow^T$ ) напряжения ( $\mathbf{u}(t)$ ) в выбранной нотации описывается выражением  $\{(1:T) \cdot f_1(0 \uparrow^T \text{Integr}^{\Delta t} \mathbf{u}^2(t) d/dt)\}$ . Фигурные скобки указывают на программную реализацию алгоритма расчета, по аналогии с языком Си, в котором тело функции заключается в аналогичные скобки. Численное интегрирование выполняется методом прямоугольников с равномерным шагом сетки  $\Delta t$ , который равен периоду дискретизации АЦП. Таким образом, рассмотренный вариант аналитической записи позволяет перейти от модели «черного ящика» к модели «серого ящика». Аналого-цифровое преобразование напряжения выполняется встроенным в микроконтроллер периферийным устройством ( $f_1(\text{АЦП})$ ). Полученный в результате массив значений  $[U_i]^{\pm u}_{\text{Gener}}$  по внутренней шине поступает ( $f_1(\text{Port})$ ) в арифметико-логическое устройство, которое вместе с регистрами общего назначения, счетчиком команд и некоторыми другими элементами является ядром микропроцессора ( $f_1(\text{Core})$ ). Далее, выполняется обработка массива с данными о мгновенных значениях линейного напряжения генератора в соответствии с алгоритмом, который реализован в программе  $([U_i]^{\pm u}_{\text{Progr}})$ .

Рассмотренный подход позволяет создать математическую модель АРМ оператора или его части. Согласно определению В. М. Глушкова, математическая модель – это множество символических математических объектов и соотношений между ними. В широком смысле к математическим моделям относят любые модели, удовлетворяющие определению В. М. Глушкова [9]. Например, измерение активной и реактивной мощности генератора, а также отображение значений этих величин с помощью графических элементов пользовательского интерфейса, можно представить в виде комбинированной структурно-функциональной модели (рис. 5).

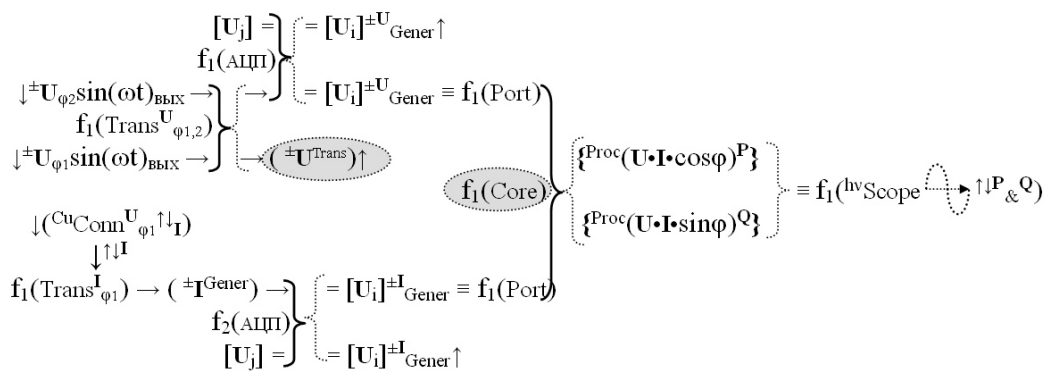


Рисунок 5 – Структурно-функциональная модель процесса измерения мощности

Математическое моделирование играет значительную роль в проверке адекватности моделей путем логического анализа. Описание системы в виде логико-динамического процесса преобразования информации позволяет выполнить проверку качественной адекватности модели – истинность гипотез о связях между параметрами и переменными модели, внутреннюю непротиворечивость, корректность преобразования информации, в частности замену непрерывных процессов дискретными. Такая проверка является обязательным предварительным этапом и при установлении адекватности количественных моделей.

Рассмотренный подход обладает объектно-ориентированным стилем описания, содержит информацию о структуре и типах информационных связей между



составляющими систему элементами. Представленные в явном виде обозначения элементов пользовательского интерфейса, элементов преобразования информации остаются прозрачными для разработчика и содержат информацию о поведении элементов, требованиях к взаимодействию и их функциональных возможностях.

**Выводы.** Понятия элементов, связей, функциональных структур служат средством описания сложных форм деятельности, к которым относится процесс взаимодействия человека с компьютером. Эти средства могут использоваться и для объективной характеристики видов деятельности (мониторинг, управление), действий и способов их осуществления (ввод данных с клавиатуры или специализированных графических элементов управления). Предложенный в работе подход позволяет представить пользовательский интерфейс автоматизированного рабочего места оператора как систему взаимосвязанных единиц с возможными отношениями между ними и типами связи. Это позволит при проектировании человеко-машинных систем определить компонентный и структурный состав интерфейсов автоматизированных рабочих мест, выполнить анализ процессов преобразования информации, рассматривать АРМ оператора со всеми подсистемами АСУ. Использование аналитического описания пользовательского интерфейса позволяет повысить эффективность программного продукта путем полного использования заложенной в программное обеспечение функциональности. Предложенный подход может быть использован как для высокоуровневого проектирования и описания взаимодействия оператора с системой, так и для низкоуровневого проектирования и описания взаимодействия элементов системы на различных уровнях декомпозиции.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергеев С. Ф. Введение в проектирование интеллектуальных интерфейсов. Учебное пособие / С. Ф. Сергеев, П. И. Падерно, Н. А. Назаренко. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2011. – 108 с.
2. Обознов А. А. Проектирование пользовательского интерфейса : эргономический подход / А. А. Обознов, А. С. Баканов. – М. : Изд-во «Институт психологии РАН», 2009. – 184 с.
3. Радванська Л. М. Моделі, методи та засоби підвищення ефективності інтерфейсу «користувач–ЕОМ» у системах організаційного управління : автореф. дисс. канд. техн. наук / Л. М. Радванська. – Херсон : ХГТУ, 1999. – 17 с.
4. Рябенский В. М. Моделирование микропроцессорных систем управления газодизель-генераторными установками / В. М. Рябенский, А. О. Ушкаренко, В. И. Воскобоенко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів : НУ «Львівська політехніка». – 2009. – № 637. – С. 78-82.
5. Рябенский В. М. Метод синтезу математичних моделей логіко-динамічних процесів контролю та керування / В. М. Рябенский, А. О. Ушкаренко // Технічна електродинаміка : тем. випуск, Ч. 2. – Київ, 2011. – С.121-125.
6. Ходаков В. Е. Адаптивный пользовательский интерфейс : проблемы построения / В. Е. Ходаков, Д. В. Ходаков // Информационно-измерительные системы. – 2003. – № 11 (11). – С. 12-19.
7. Соколова Н. А. Адаптивный интерфейс АРМ диспетчера системы электросетей / Н. А. Соколова, Д. В. Ходаков // Автоматика. Автоматизация. Электрические комплексы и системы. – 2000. – № 2 (7). – С. 48-56.
8. Большой психологический словарь / Сост. и общ. ред. Б. .Г. Мещеряков, В. П. Зинченко. – СПб. : Прайм-ЕВРОЗНАК, 2003. – 672 с.
9. Глушков В. М. Кибернетика, вычислительная техника, информатика. Избранные тр. в трех томах. Т. 1. Математические вопросы кибернетики. Т. 2. ЭВМ – техническая база кибернетики. Т. 3. Кибернетика и ее применение в народном хозяйстве / В. М. Глушков. – К. : Наукова думка, 1990.



**Рябенський В.М., Ушкаренко О.О. АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД ОПИСУ ІНТЕРФЕЙСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ОПЕРАТОРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ**

*Розглянуто принципи математичного опису елементів користувальницьких інтерфейсів автоматизованих робочих місць операторів суднових електроенергетичних систем для визначення компонентного і структурного складу інтерфейсів автоматизованих робочих місць при проектуванні людино-машинних систем, а також виконання аналізу процесів перетворення інформації при взаємодії автоматизованого робочого місця оператора з усіма підсистемами автоматизованої системи управління. Запропоновано метод формалізації процесу роботи оператора з екранними елементами управління. Розроблено структурно-функціональну модель системи вимірювання та моніторингу параметрів синхронного генератора. Визначено правила опису функціональних структур на різних рівнях декомпозиції системи моніторингу та управління судновою електроенергетичною установкою. Наявність аналітичної моделі інтерфейсу користувача дозволяє оцінити його повноту і несуперечність, визначити відносини і типи зв'язків між підсистемами управління та візуалізації, а також описати функціональні можливості елементів окремих підсистем і алгоритми обробки даних. Перевагою запропонованого в роботі підходу є можливість використання різних рівнів декомпозиції для опису підсистем і елементів АСУ, що дозволяє виділити найбільш важливі аспекти опису на різних стадіях проектування та аналізу системи. Розглянутий підхід має об'єктно-орієнтований стиль опису, містить інформацію про структуру і типи інформаційних зв'язків між складовими елементами системи. Представлені в явному вигляді позначення елементів користувальницького інтерфейсу, елементів перетворення інформації залишаються прозорими для розробника і містять інформацію про їх поведінку, вимоги до взаємодії та їх функціональні можливості.*

*Ключові слова: суднова електроенергетична система, АРМ оператора, структурно-функціональна модель, інтерфейс.*

**Ryabenskiy V.M., Ushkarenko O.O. ANALYTICAL METHOD OF DESCRIPTION OF INTERFACE FOR AUTOMATED OPERATOR WORKPLACE OF POWER SYSTEM**

*The principles of the mathematical description of elements of the operator's user interface of ship power plants to determine the component interfaces and the structural composition of workstations in the design of human-machine systems, and perform analysis of the processes of transformation of information in the interaction of the operator workstation with all the subsystems of the automated control system have been described. Proposed a method for formalization of the work process of operator with onscreen controls. The structural-functional model of the system to measure and monitor the parameters of the synchronous generator have been developed. The rules for describing functional structures at various levels of decomposition of the monitoring and control of ship's power plant have been defined. The presence of an analytical model of the user interface is a measure of completeness and consistency, to determine the types of relationships and connections between subsystems control and visualization, as well as to describe the functionality of the individual subsystems and data processing algorithms. Advantage of this approach is in the use of different levels of decomposition to describe subsystems and elements of ICS, which allows to highlight the most important aspects of the description of the various stages of design and analysis system. The approach has an object-oriented style description contains information about the structure and types of communication links between the constituent elements of the system. Represented obviously user interface elements, elements of information transformation remain transparent to the developer and contain information about the behavior of the elements, requirements and their interaction capability.*

*Keywords: ship power system, operator workstation, structural-functional model, interface.*

Статтю прийнято  
до редакції 26.05.14