

УДК 004.896: 81.95.61

Н. А. Назаренко

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

Ж. К. Каминская

Запорожский национальный технический университет

Методика проектирования человекомашинных интерфейсов SCADA-систем

Предложена информационная технология интеллектуальной поддержки процесса эргономического проектирования человекомашинных интерфейсов (ЧМИ), разрабатываемых с помощью SCADA-систем. Проведен анализ структуры ЧМИ и выявлены свойства его типовых элементов, которые могут быть представлены в виде известных категорий кодирования информационных моделей. Определена номенклатура классов MSDN, необходимых для программной реализации кодов. Полученные результаты являются теоретической основой для разработки экспертной системы, осуществляющей интеллектуальную поддержку проектировщика ЧМИ.

Человекомашинный интерфейс, мнемосхема, эргономическое проектирование, кодирование информации, SCADA-системы, интеллектуальная поддержка

Опыт эксплуатации современных систем управления показал, что широкое внедрение информационных технологий, повышение степени автоматизации и перераспределение функций между человеком-оператором и «машиной», не привело к сокращению количества аварий на предприятиях.

Если в 60-х гг. человек был виновен только в 20 % аварий (80 %, соответственно, за техническим компонентом), то в 90-х гг. доля человеческого фактора выросла до 80 % [1]. Таким образом, в результате постоянного совершенствования информационных технологий и повышения надежности технической части современных человекомашинных систем (ЧМС) оператор стал их самым слабым звеном.

Эффективность, качество и надежность деятельности оператора определяются степенью согласованности его психофизиологических возможностей с орудием его труда – человекомашинным интерфейсом (HMI – Human-Machine Interface) АСУ ТП. Возможности человека-оператора по приему и переработке информации, необходимой для принятия решений, не идут ни в какое сравнение с возможностями технических устройств. К тому же, они зависят от структуры деятельности оператора, его индивидуальных особенностей, уровня квалификации, работоспособности, психофизиологического состояния, параметров окружающей среды и т. д.

В настоящее время для управления сложными техническими объектами и процессами используются АСУ ТП, проектируемые с помощью технологии SCADA. В связи с этим актуальным становится вопрос разработки новой информационной технологии эргономического проектирования человекомашинных интерфейсов SCADA-систем.

Современное состояние исследований. Требования к информационному, техническому и программному обеспечению SCADA-систем постоянно меняются под влиянием рынка. Появилось новое направление функционального развития SCADA-систем, основанное на внедрении интеллектуальных информационных технологий, что позволяет существенно расширить область использования этих систем.

Известно применение интеллектуальных систем в качестве компонентов SCADA-систем или совместно с ними, например [2]–[4]. Такая интеграция обеспечивает интеллектуальную поддержку оператора в процессе анализа данных, диагностики состояния технологического оборудования, прогнозирования развития ситуаций и принятия соответствующих решений в штатных и нестандартных ситуациях.

Несмотря на наличие в SCADA-системах большого арсенала библиотек специализированных элементов и графических редакторов, в их составе отсутствуют средства интеллектуальной

поддержки эргономического проектирования ЧМИ. Иными словами, SCADA-системы предоставляют проектировщику только конструктор, из «деталей» которого он создает конечный продукт труда в виде ЧМИ, но информационно не поддерживают методологию эргономического обеспечения проектирования (ЭОП) интерфейса.

Существует ряд известных методик ЭОП информационных моделей (ЧМИ является их разновидностью) операторов АСУ ТП, например [5]. Их недостатком является слабая формализация этапов проектирования. Проведенный анализ [6] показал отсутствие научных исследований в России, Украине и зарубежных публикациях в области автоматизации ЭОП информационных моделей технологических процессов.

В статье представляется новый подход к эргономическому обеспечению процесса проектирования ЧМИ SCADA-систем, который стал бы теоретической основой для разработки экспертной системы (ЭС), выполняющей функции интеллектуальной поддержки проектировщика ЧМИ.

Концепция интеллектуальной поддержки процесса проектирования ЧМИ. Методология проектирования ЧМИ SCADA-систем должна базироваться на методах системного подхода. Это означает, что как объект автоматизации «проектирование ЧМИ», так и орудие труда проектировщика «ЭС» должны рассматриваться как по отдельности, так и совместно в качестве единой ЧМС. Анализ данной системы позволил определить компоненты системы и отношения между ними; функциональное назначение ЭС; перечень проблемных ситуаций в деятельности проектировщика ЧМИ, требующих интеллектуальной поддержки, а также номенклатуру типовых элементов интерфейса, используемых им в процессе проектирования.

Для моделирования предметной области «Проектирование ЧМИ» применен объектно-ориентированный подход, который упрощает реализацию проектов в SCADA-системах. Основной составляющей объектно-ориентированного анализа является декомпозиция проблемы на отдельные классы понятий (концептуальные классы) или объекты. Концептуальная модель предметной области «Проектирование ЧМИ», выполненная в обозначениях языка UML, представлена на рис. 1.

Внутреннюю иерархическую структуру предметной области раскрывает отношение агрегации (aggregation). Эта специальная ассоциация

служит для представления отношения R_1 типа «часть-целое» между агрегатом (целое) и его составной частью. Характер других отношений между классами в модели задается с помощью поименованных направленных ассоциаций.

Согласно рис. 1 проектировщик (класс «Проектировщик»), используя набор типовых элементов интерфейса («Палитра»), пошагово осуществляет разработку проекта ЧМИ («Текущий проект»). Текущий проект ЧМИ выполняется в рабочем пространстве («Workspace»), включающем в себя набор инструментов, шаблонов, а также методов и средств их использования в рамках проекта. Итоговое состояние текущего проекта, сохраненное средствами среды разработки, является, собственно, продуктом труда проектировщика – ЧМИ SCADA-системы («ЧМИ»).

Объекты, которыми проектировщик наполняет рабочее пространство, реализуются с помощью различных программных классов. Класс «Workspace» является контейнером для следующих классов: MainWindow (главное окно инструментального средства разработки ЧМИ); PictureBox (класс из пространства имен System.Windows.Forms, элемент управления графическим окном Windows для отображения графических объектов в различных форматах); StatusBar (панель состояния, класс из пространства имен System.Windows.Forms); ToolBar (панель инструментов, которая является контейнером для группы команд или элементов управления, класс из пространства имен System.Windows.Controls); TabControl (панель вкладок, управляющая связанным набором страниц вкладок, класс из пространства имен System.Windows.Forms).

Интеллектуальная поддержка проектировщика осуществляется при помощи экспертной системы (ЭС). Типичная ЭС состоит из следующих основных компонентов [7]: решателя (интерпретатора); рабочей памяти (базы данных), предназначенной для хранения исходных и промежуточных данных решаемой в текущий момент задачи; базы знаний (БЗ); компонентов приобретения знаний; пояснительного компонента; диалогового компонента.

Для их отображения в концептуальную модель (рис. 1) введены следующие классы:

- «Интерпретатор» – для решателя.
- «Знания» – для базы знаний и данных (БЗД).
- «ИнтеллектИнтерфейс» (подсистема «Интеллектуальный интерфейс») – для остальных компонентов.

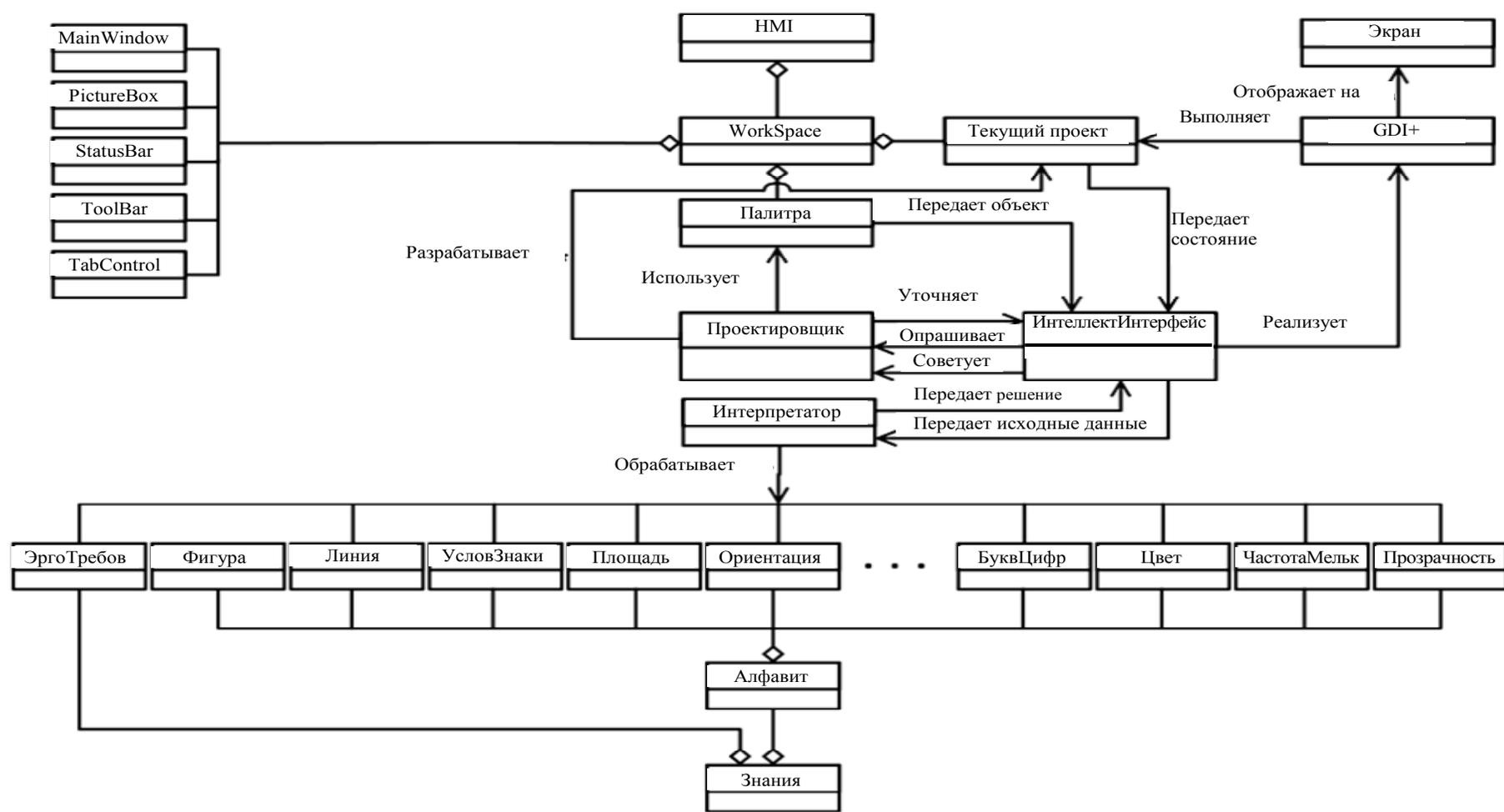


Рис. 1

В результате интерактивного взаимодействия проектировщика с подсистемой «Интеллектуальный интерфейс» осуществляется его интеллектуальная поддержка в виде советов, генерируемых ЭС.

Процесс выработки совета заключается в следующем.

На вход подсистемы «Интеллектуальный интерфейс» поступает следующая информация: о текущем состоянии проекта (от «Текущий проект»); о выбранном проектировщиком типичном элементе интерфейса (от «Палитра»), а также результаты диалога с проектировщиком (от «Проектировщик»).

Результаты обработки входной информации данная подсистема передает «Интерпретатору» в виде некоторых исходных суждений (предпосылок), которые описывают текущую проблемную проектную задачу TS_i . «Интерпретатор», используя исходные данные и знания БЗД экспертной системы («Знания»), формирует последовательность правил (советы проектировщику), которые приводят к решению задачи TS_i .

БЗД о N -й ЧМС представляется в виде следующего кортежа [8]:

$$KB(N) = \langle KBC(N), KBO(N) \rangle,$$

где $KBC(N)$ – БЗД о компонентах N -й ЧМС; $KBO(N)$ – БЗД об организации N -й ЧМС, т. е. информация о взаимосвязях компонентов ЧМС.

БЗД экспертной системы состоит из множества локальных БЗД. Знания о компонентах $KBC(ES)$ и организации $KBO(ES)$, содержащиеся в БЗД экспертной системы, приведены ниже, после рассмотрения концептуальной модели предметной области «Проектирование ЧМИ».

На рис. 1 представлены две локальные БЗД «ЭргоТребов» (обозначим ее $KBEV$) и «Алфавит» ($KBAL$), такие, что $KBEV, KBAL \in KBO(ES)$.

Первая, «ЭргоТребов», содержит следующие знания по эргономическому обеспечению проектирования ЧМИ: психофизиологические характеристики оператора; правила разработки информационных моделей; правила компоновки кодовых знаков; правила и рекомендации по проектированию шкал приборов, графиков.

Вторая, «Алфавит», представляет знания о способах кодирования (алфавитах) информации об объектах контроля и управления (ОКУ) технологического процесса. Качественные и количественные характеристики ОКУ кодируются в информационных моделях различными способами

(алфавитами, кодами). Всего существует 17 видов кодирования [9].

На рис. 1 представлены следующие виды алфавита: «Фигура» – кодирование абстрактными геометрическими фигурами; «Линия» – типом линии; «УсловЗнаки» – условными знаками; «Площадь» – площадью геометрических фигур; «Ориентация» – ориентацией линии в пространстве; «БуквЦифр» – буквами, знаками препинания и цифрами; «Цвет» – цветом; «Частота-Мельк» – частотой мельканий.

Анализ свойств программных классов, с помощью которых реализуются типичные элементы ЧМИ, показал наличие у многих из них такого свойства, как прозрачность (Opacity). Это свойство задает коэффициент прозрачности, который применяется ко всему элементу при его отрисовке в пользовательский интерфейс.

Прозрачность можно рассматривать в качестве 18-го вида алфавита, о котором должна «знать» ЭС и использовать его, например для кодирования состояния объекта, степени выполнения процесса или функции. Этот вид алфавита на рис. 1 представлен классом «Прозрачность».

Получив от «Интерпретатора» результаты логического вывода из БЗД, подсистема «Интеллектуальный интерфейс» в соответствии с ними модифицирует текущий проект ЧМИ и реализует, таким образом, решение текущей задачи TS_i .

Как известно, интерфейсом операционной системы Windows, выполняющим функции представления графических объектов и передачи их на монитор, является GDI+ (см. рис. 1). Доступ к функциям GDI+ осуществляется с помощью набора управляемых классов. Интерфейс управляемых классов, связанных с отображением на экране («Экран» на рис. 1), является частью платформы .NET Framework.

Анализ структуры человекомашинных интерфейсов SCADA-систем. Несмотря на кажущееся многообразие ЧМИ современных АСУ ТП, проведенный анализ позволил выявить их типовые структуры, которые определяют знания о компонентах ЧМИ (т. е. $KBC(ES)$). В результате исследований определены следующие типичные форматы представления информации в графическом интерфейсе SCADA-систем: мнемосхемы трех уровней (обобщенные, групповые и индивидуальные); показания (наборы аналоговой и дискретной информации); текущие события, связанные со сменой состояний технологических си-

стем и процессов; «алармы» (тревоги – при выходе параметра за нормативное значение); графики изменения аналоговых параметров (тренды); инструкции (для отображения текста оперативных инструкций); свободные форматы, которые используются для получения различного рода справочной информации в режиме диалога оператора с интеллектуальным модулем SCADA-системы.

Каждый информационный формат на экране практически реализуется в виде определенной зоны ЧМИ. Элементы интерфейса, которые могут располагаться проектировщиком в зонах, были объединены в концептуальный класс «Палитра». Модель предметной области «Палитра» в виде диаграммы классов языка UML представлена на рис. 2.

Абстрактные классы представлены на рис. 2 курсивом. Диаграмма отображает 2 вида отношений – агрегации и обобщения (generalization) – таксономического отношения между более общим понятием и менее общим понятием, т. е. отношения R_2 типа «IS a». Данное отношение, применительно к диаграмме классов, описывает иерархическое строение классов и наследование их свойств и поведения.

Зоны всех форматов представлены на рис. 2 в виде трех классов: «Мнемосхема», «Тренд» и «Документ». Назначение первых двух классов очевидно. Класс «Документ» был введен для представления всех других форматов, перечисленных ранее.

В соответствии с моделью, например, в зоне формата мнемосхемы могут размещаться следующие элементы: «График»; «ОбъектТП» (ОКУ технологического процесса); «ЭлемУправления» (элементы управления ЧМИ) и «СоединитЭлемент» (соединительные элементы на мнемосхеме).

Класс «ЭлемУправления» является родительским для следующих классов: «НепосрУправление» (элементы непосредственного управления); «ЭлементОтобрИнф» (элементы отображения информации) и «ЭлементВводаИнф» (элементы ввода информации). Каждый из этих классов, в свою очередь, имеет классы-потомки. Большинство из них представляет собой типичные элементы интерфейса «Button», «TreeView», «ComboBox» и др.

Интерфейс оператора может содержать также виртуальные элементы, имитирующие реальные элементы управления и устройства. Для их отобра-

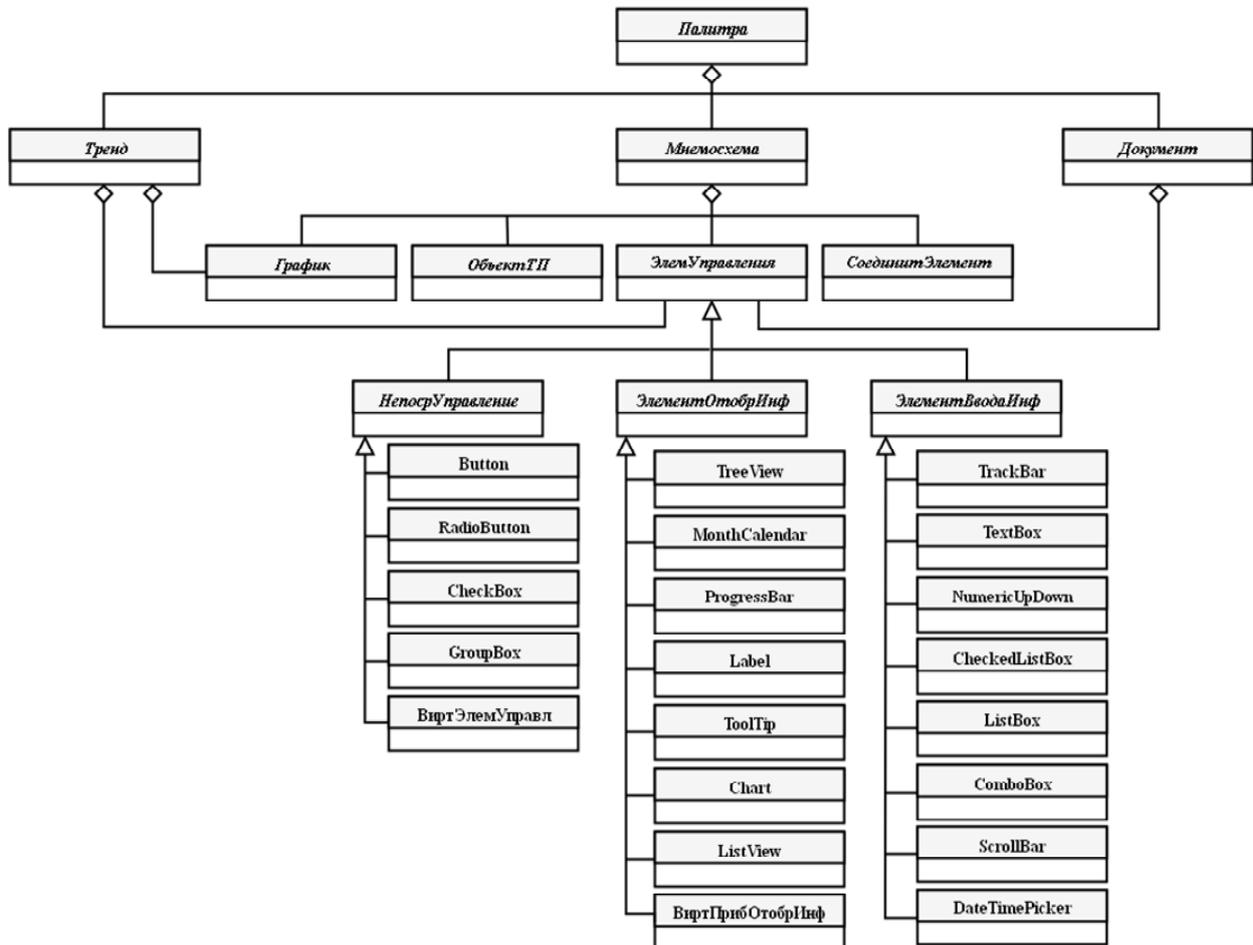


Рис. 2

жения в модель введены классы «ВиртЭлемУправл» и «ВиртПрибОтобрИнф» соответственно.

Знания о технологии отображения элементов ЧМИ. Организационные знания КВО(N) любой ЧМС можно представить в виде комплекса морфологических структур, компонентами которых являются множество целей ЧМС, условий, задач, функций, планов, средств технологий, законов управления функционированием ЧМС [8].

Для достижения цели «Проектирование ЧМИ» проектировщик должен решить множество задач $TS = \{TS_i \mid i = 1 \dots K_i\}$, номенклатура которых обусловлена известными методиками проектирования информационных моделей и ЧМИ [5], [8], [9], [11]. Знания о планах и технологиях их выполнения (KBTS) являются подмножеством знаний KBEV. Их можно представить в виде кортежа [8]:

$$KBTS = \langle Fn_i, MTS(TS_i), MTc_i, P_{mm}(KM_p, MTc_i) \rangle,$$

где $Fn_i = \{Fn_{ij} \mid j = 1 \dots K_j\}$ – множество функций Fn_{ij} , которые необходимо реализовать для решения i -й задачи; $MTS(TS_i)$ – морфолого-временная структура функций Fn_{ij} , которая отображает плановую логико-временную последовательность выполнения функций, необходимых для решения задачи TS_i ; MTc_i – множество технологических способов реализации функции Fn_{ij} ; $P_{mm}(KM_p, MTc_i)$ – предикат «Реализация функции Fn_{ij} возможна множеством технологических способов MTc_i при комбинации условий KM_p ».

Графические элементы Windows Forms можно разделить на 3 основные категории:

- двухмерная (2D) векторная графика;
- рисунки;
- типографская разметка.

Интерфейс управляемых классов, связанных с отображением на экране в .NET Framework 4.5 и 4.6, состоит из следующих пространств имен:

- system.Drawing;
- system.Drawing.Drawing2D;
- system.Drawing.Imaging;
- system.Drawing.Text;
- system.Drawing.Configuration;
- system.Drawing.Design.

Родительское пространство имен System.Drawing содержит типы, которые поддерживают базовые графические функции GDI+. Остальные пространства имен обеспечивают дополнительные функциональные возможности.

Основой интерфейса GDI+ является класс Graphics. Он непосредственно выполняет рисование прямых и кривых линий, геометрических фигур, вывод рисунков и текста. С классом Graphics взаимодействует много классов. Например, метод DrawLine получает объект Pen, который содержит атрибуты рисуемой линии, такие, как цвет, ширина, наличие или отсутствие пунктира и т. д.

Был проведен анализ функционального назначения классов пространства имен System.Drawing, связанных с ними методов класса Graphics, а также видов алфавита на возможность их применения для кодирования графических элементов Windows Forms.

Введем 4 множества:

- A_1 – информация, отображаемая на экране;
- A_2 – пространство имен System.Drawing;
- A_3 – методы класса Graphics;
- A_4 – виды алфавита.

Для того чтобы определить знания, необходимые подсистеме «Интеллектуальный интерфейс» для реализации функций отображения и кодирования элементов ЧМИ, введем тетрарное отношение R_3 «Для отображения и кодирования a_1 используется a_2, a_3, a_4 » на декартовом произведении $A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4$.

Отношению R_3 можно поставить в соответствие 4-местный предикат. Кортеж (a_1, a_2, a_3, a_4) принадлежит отношению тогда и только тогда, когда предикат этого отношения $P(a_1, a_2, a_3, a_4) = 1$.

Все элементы отношения R_3 являются однотипными кортежами. Однотипность кортежей позволяет считать их аналогами строк (i) в простой таблице, т. е. в такой таблице, в которой все строки состоят из одинакового числа ячеек и в соответствующих ячейках размещаются одинаковые типы данных. Пример представления отношения R_3 приведен в таблице.

Количество столбцов таблицы $j = 4$ обусловлено количеством множеств декартового произведения. Для удобства представления информа-

Отображаемая информация	Классы пространства имен System.Drawing	Методы класса Graphics	Вид алфавита													
			Геометрические фигуры	Тип линии	Условные знаки	Число элементов	Площадь фигур	Длина линии	Ширина линии	Ориентация в пространстве	Позиция	Стереоглубина	Штриховка	Буквенно-цифровой	Цвет, яркость	Частота мельканий
2D-векторная графика	Brush	FillClosedCurve												1		
		FillEllipse										1		1		
		FillPolygon										1		1		
		FillRectangle										1		1		
	Pen	DrawArc	1	1		1		1	1	1	1			1		
		DrawClosedCurve	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1		
		DrawEllipse	1	1		1	1		1	1	1			1		
		DrawLine		1						1	1	1			1	
		DrawPolygon	1	1			1		1	1	1			1		
Растровые изображения	Image	DrawImage	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Icon	DrawIcon			1		1				1			1		
Символы и строки	StringFormat	DrawString											1			

ции (сокращения количества строк) таблица имеет следующие особенности:

– 4-й столбец представлен в виде 15 элементов множества A_4 ;

– в одной строке объединены кортежи с общими элементами из столбцов $j = 1 \dots 3$ и различными элементами множества A_4 ;

– для элементов таблицы x_{ij} выполняется условие

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } R_3 = \text{true}, \\ 0, & \text{если } R_3 = \text{false}. \end{cases}$$

Такие отдельные коды, как буквы, знаки пунктуации и цифры, в таблице представлены одним алфавитом «Буквенно-цифровой». В связи с тем, что компьютерная реализация кодов «Цвет» и «Яркость» связана с одной и той же цветовой моделью RGB, в таблице они представлены в одном столбце.

После формализации и внесения знаний, приведенных в таблице, в БЗД экспертная система будет иметь знания о технологии отображения и выбора кодов для графических элементов Windows Forms.

Например, при решении задачи отображения растровых изображений подсистема «Интеллектуальный интерфейс» предложит использовать

класс Image И/ИЛИ класс Icon пространства System.Drawing и соответствующие методы класса Graphics. При выборе проектировщиком класса Image ему будут рекомендованы как возможные все виды кодов. При выборе класса Icon проектировщику будут рекомендованы следующие виды кодов: «Условные знаки» И/ИЛИ «Площадь фигур» И/ИЛИ «Позиция» И/ИЛИ «Цвет», «Яркость».

Совокупность разработанных моделей, технологий и знаний образует новую информационную технологию проектирования ЧМИ SCADA-систем.

В статье описана концепция интеллектуальной поддержки процесса эргономического проектирования ЧМИ SCADA-систем и проанализирована структура ЧМИ современных АСУ ТП. Выявлены свойства типовых элементов ЧМИ, установлена их связь с известными категориями кодирования информационных моделей. Формализованы знания о технологии отображения и выбора кодов для графических элементов Windows Forms. Полученные результаты являются теоретической основой для разработки ЭС, реализующей интеллектуальную поддержку проектировщика ЧМИ, которая может быть как самостоятельным программным продуктом, так и интегрироваться в состав SCADA-систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанян К. В., Миллер А. Б., Миллер Б. М. Планирование траектории БПЛА в сложных условиях при наличии угроз // Материалы 33-й конф. молодых ученых и специалистов ИППИ РАН «Информационные технологии и системы» (ИТИС'10), Геленджик, 20–24 сент. 2010. С. 263–268. URL: <http://www.itas2010.itpp.ru/pdf/1569326822903.pdf>.
2. Концепция развития функций SCADA-системы TRACE MODE на основе технологии экспертных систем принятия и исполнения решений. URL: <http://isup.ru/articles/2/241/>.
3. Be an Expert Builder of Expert System / Gensym. URL: <http://www.gensym.com/product>.
4. Lange T. Intelligent SCADA Systems // Engineer IT. Automation and Technical Control. 2007. Apr. P. 26–30.
5. Мунипов В. М., Зинченко В. П. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды: учеб. М.: Логос, 2001. 356 с.
6. Каминская Ж. К. Анализ проблем автоматизации процесса эргономического проектирования информационных моделей технологических процессов // Вестн. Житомирского гос. технол. ун-та. Технические науки. 2010. Вып. 1 (52). С. 103–108.
7. Статические и динамические экспертные системы / Э. В. Попов, И. Б. Фоминых, Е. Б. Кисель, М. Д. Шапот. М.: Финансы и статистика, 1996. 320 с.
8. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытание: справ. / А. Н. Адаменко, А. Т. Ашероф, И. Л. Бердников и др.; под общ. ред. А. И. Губинского. М.: Машиностроение, 1993. 528 с.
9. Эргономика: принципы и рекомендации. Методическое руководство / ВНИИТЭ. М., 1983. 184 с.
10. Попов Э. В. Экспертные системы: решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. 288 с.
11. Тидвелл Дж. Разработка пользовательских интерфейсов. СПб.: Питер, 2008. 416 с.

N. A. Nazarenko
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

Zh. K. Kaminskaya
Zaporozhye National Technical University

METHOD OF HUMAN-MACHINE INTERFACE DESIGNING OF SCADA-SYSTEM

Information technology of intellectual support for the ergonomic design of the human-machine interfaces (HMI) developed by means of SCADA systems is offered. The analysis of HMI structure is carried out and properties of its standard elements which can be represented in the form of known coding categories of information models are described. The results received are theoretical basis for designing of an expert system which is carrying out the intellectual support of HMI-designer.

Human-machine interface, symbolic circuit, ergonomic design, coding, SCADA-systems, intellectual support

УДК 159.9 (303.732)

Н. А. Назаренко, А. В. Леонов, Д. Э. Шумская
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Методика определения профессионально важных качеств на основе особенностей пользовательского интерфейса АРМ

Описывается методика определения профессионально важных качеств человека-оператора с учетом особенностей пользовательского интерфейса АРМ, выявлены основные проблемы и приведены возможные варианты их решения. Данная методика поможет усовершенствовать методы профессионального отбора, а также позволит проводить опережающую подготовку высококвалифицированных операторов за счет учета особенностей пользовательского интерфейса.

Человек-оператор, профессионально важные качества, пользовательские интерфейсы, FODA, АРМ, профессиональный отбор

На сегодняшний день огромную роль в производстве и управлении сложными техническими системами предупреждения чрезвычайных ситуаций

играют сложные автоматизированные программно-аппаратные комплексы. Для работы с такими комплексами требуются квалифицированные специа-