

УДК 004.5, 004.81, 004.622, 004.912, 004.942

**А.Ф. Верлань, М.Ф. Сопель, Ю.О. Фуртат****ОБ ОРГАНИЗАЦИИ АДАПТИВНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО  
ИНТЕРФЕЙСА В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ**

*В современных автоматизированных системах пользователям требуется за ограниченное время обрабатывать значительные объёмы информации. Возникающая при этом информационная перегрузка отрицательно сказывается на эффективности работы пользователей и, в случае несвоевременной реакции на критические события, на надёжности системы в целом. Одним из эффективных способов снижения уровня напряжения пользователя при работе с информацией в автоматизированной системе является построение персонализированного рабочего интерфейса, учитывающего особенности восприятия. Современный эргономический подход не всегда даёт удовлетворительный результат, необходимы более гибкие механизмы персонализации. Адаптация рабочего интерфейса с учётом когнитивных особенностей пользователя позволяет создать индивидуальный интерфейс, ориентированный на модификацию параметров информационных потоков от системы к пользователю для максимального согласования с когнитивным профилем. Для реализации механизма адаптации предлагается создание комплекса программных средств, включающего конструктор интерфейса, подсистему диагностирования когнитивных и психофизиологических характеристик пользователя и базу данных, предназначенную для хранения настроек интерфейса и когнитивного портрета для отдельных пользователей, а также информации о рабочем процессе, важную для построения персонализированного интерфейса.*

*Пользовательский интерфейс; автоматизированная система; персонализация интерфейса; управление процессом адаптации интерфейса.*

**A.F. Verlan, M.F. Sopol, Yu.O. Furtat****ON ADAPTIVE USER INTERFACE ORGANIZATION IN AUTOMATED  
SYSTEMS**

*In modern automated systems users have to process large amounts of information in the limited time interval. The resulting information overload affects the efficiency of the users and, in the case of delayed response to critical events, reliability of the system itself. One effective way to reduce the user stress level during information processing in an automated system is to build a personalized desktop interface that takes into account the particularities of perception. Modern ergonomic approach does not always produce a satisfactory result, more flexible mechanisms for personalization are needed. Adaptation of the operational interface with consideration for the cognitive characteristics of the user allows you to create a personalized user interface, focused on the modification of parameters of the information flow from the system to the user for maximum coordination with the cognitive profile. In order to implement the mechanism of adaptation it is proposed to create a software complex, that includes the interface constructor, user's cognitive and psycho-physiological characteristics diagnostics subsystem and a database for storing interface configuration and cognitive portrait for individual users as well as information about the work process, important for building a personalized interface.*

*User interface; automated system; interface personalization; interface adaptation process management.*

**Актуальность задачи создания адаптивных пользовательских интерфейсов.** В результате роста количества, разнообразия и сложности автоматизированных систем значительно возросло количество пользователей со своими особенностями работы с данными и восприятием информации. Данная ситуация характерна прежде всего для автоматизированных систем проектирования, обучения и управления, хотя сюда можно отнести и другие классы систем. В системах каждого типа

пользователь при принятии решений сталкивается с необходимостью обрабатывать за ограниченное время значительные объёмы информации. Существующие эргономические способы организации автоматизированных рабочих мест [1] во многих случаях не могут обеспечить удовлетворяющий пользователей уровень комфортности работы с системой. Поэтому решение проблемы повышения эффективности профессиональной деятельности пользователя неразрывно связано с задачей создания программных средств адаптации форм хранения и представления информации.

Работы по исследованию процессов адаптации пользовательских интерфейсов и программной реализации средств управления информационными потоками в сложных системах ведутся уже значительное время. В частности, в [1] описывается разработанная и реализованная система, учитывающая особенности функциональной области автоматизированной системы при обработке информации и организации взаимодействия пользователя с системой; однако в этой работе не рассматриваются индивидуальные особенности пользователей (проблема эффективности сложных систем рассматривается больше со стороны их надёжности, чем со стороны эффективности взаимодействия «пользователь-система»), как и возможность настройки интерфейса взаимодействия самим пользователем. В работах [2; 3] рассматривается модель взаимодействия пользователя с информацией в рамках систем адаптации пользовательских интерфейсов, учитывающих индивидуальные особенности конкретных пользователей и предоставляющих пользователям возможность самостоятельно модифицировать интерфейсы работы с системой; однако при этом недостаточное внимание уделяется специфике профессиональной деятельности пользователя. В [4] также предложена функциональная схема программных средств адаптации пользовательских интерфейсов к особенностям деятельности и восприятия информации конкретных операторов, при этом исследуется достаточно узкая проблемная область применения разработанной системы адаптации интерфейсов. В [5] основное внимание уделяется разработке моделей адаптивных интерфейсов для разных проблемных областей, указанных в работе; влияние же индивидуальных особенностей пользователя не рассматривается, что означает отсутствие моделей адаптивного интерфейса, предусматривающих пользовательскую настройку.

Таким образом, хотя рассматриваемая в статье тема была исследована в ряде работ, всё же недостаточно исследованной остаётся возможность учёта в процессах адаптации интерфейса, помимо особенностей обработки информации пользователем, также специфики профессиональной деятельности пользователей в различных областях. Кроме того, не было уделено должное внимание важной проблеме работы системы адаптации интерфейса с входными данными произвольного формата и происхождения, что означает её более высокий уровень универсальности. Таким образом, задача разработки и создания комплексной системы адаптации пользовательских интерфейсов остаётся актуальной.

**Функциональные основы построения систем адаптивного управления пользовательскими интерфейсами.** Программные средства адаптации пользовательских интерфейсов должны обладать возможностью самостоятельно выбирать удобную для пользователя форму представления информации. Это позволит упростить процедуру настройки интерфейса и уменьшить нагрузку на специалиста при необходимости внесения в интерфейс небольших изменений.

Во-первых, система должна получить данные об особенностях восприятия информации пользователем. Эти данные могут поступать как извне системы (например, из результатов профессионального психологического тестирования), так и быть получены в самой системе – за счет проведения оперативного тестирования и/или наблюдения за поведением и эффективностью деятельности пользователя во время работы с системой.

Во-вторых, в систему должны быть заложены данные о специфике процесса, с которым она связана. Например, информация о функциональном назначении автоматизированной системы (управление, проектирование, обучение и т.п.) может повлиять как на выбор наиболее целесообразных элементов интерфейса, так и на степень автоматизации процесса адаптации интерфейса пользователя (от полностью автоматической – до управляемой исключительно пользователем) [6].

Возможность ручного управления процессом адаптации интерфейса должна зависеть от особенностей системы и уровня подготовки пользователя. Например, в автоматизированных системах управления (АСУ) пользователем системы является специалист с высоким уровнем профессиональной подготовки, который отвечает за процесс принятия решений. Ему можно предоставить полный контроль над средствами адаптации и автоматизации. Пользователем же учебных систем является, чаще всего, ученик. Система должна максимально эффективно вести его к цели, а вмешательство пользователя здесь будет непрофессиональным и приведет к уменьшению эффективности системы. В этом случае нужно оставить лишь формирование пользователя о стратегии поведения системы – понимание ее может стать дополнительным мотивирующим фактором в процессе обучения.

На рис. 1 приведено алгоритмическое описание программных средств, предлагаемых для решения задачи адаптации пользовательских интерфейсов, – от сбора информации от системы до вывода данных на экран рабочего места пользователя.

На экран рабочего места пользователя выводится как основная информация, связанная с процессом или объектом управления, так и служебная (включающая в себя данные об адаптивных возможностях интерфейса). Исследования [7] показывают, что при осведомленности пользователя о работе системы адаптации интерфейса его доверие к системе возрастает, т.е. он положительно воспринимает манипулирование пользовательским интерфейсом и формой отображения информации.

Пользовательский интерфейс любой сложной системы составляется из комбинации типовых элементов вывода данных в различных формах – текстовой, графической, звуковой. Но в случае большого количества элементов вывода информации внимание пользователя рассеивается, и при этом ни один из каналов восприятия информации не работает с необходимой эффективностью. В связи с этим элементы вывода в современных пользовательских интерфейсах комбинируются и объединяются. В настоящее время широко применяются мнемосхемы – комбинация графического и текстового представления информации. Хотя такая форма является достаточно универсальной, она не может учесть индивидуальных особенностей всех пользователей системы. При настройке интерфейса информацию следует рекомбинировать для представления (без потерь, что является необходимым условием) в удобном для восприятия пользователем виде.

Сейчас активно разрабатываются и создаются гибко настраиваемые интерфейсы. Примерами могут служить планшетные компьютеры на платформе Android, где пользователь может с большой степенью свободы размещать на нескольких «рабочих столах» ярлыки и другие управляющие элементы, или офисные приложения, где для размещения управляющих элементов используются панели рабочего окна. В системах визуального программирования подобным образом создаются шаблоны рабочих окон.

Этот механизм компоновки можно использовать и при конструировании пользовательского интерфейса автоматизированных систем. Специалисту, отвечающему за разработку или настройку интерфейса пользователя (как правило, это проектировщик или психолог), предоставляются элементы вывода данных, сгруппированные по форме представления информации на отдельных панелях. Специалист затем выбирает нужный элемент и размещает его на поле интерфейса, связывая с источником данных.

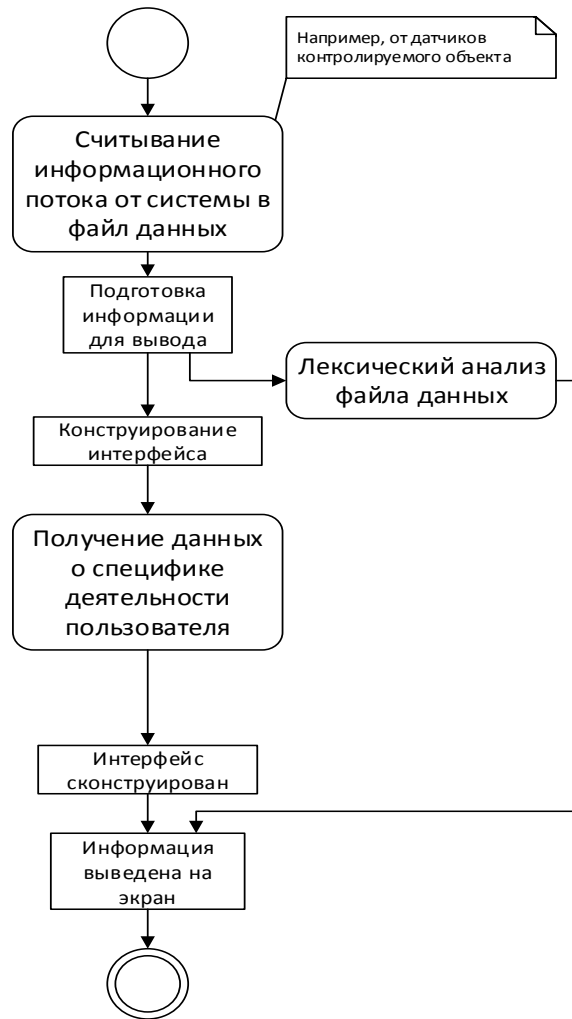


Рис. 1. Программные средства адаптации пользовательских интерфейсов (процесс обработки информации)

Поскольку интерфейс представляет собой набор элементов вывода информации, то сами данные также должны быть подготовлены для такой системы вывода. Для разбиения файла с информацией от системы на содержательные сегменты программным средствам управления пользовательским интерфейсом нужно проводить его лексический анализ, т.е. анализировать файл с информацией от системы (работа непосредственно с информационным потоком от системы в реальном времени нежелательная из-за потенциальных проблем с синхронизацией с адаптируемым в реальном времени интерфейсом) на основе ключевых слов, которые фиксируют начало и конец определенных сегментов файла.

Начальный этап обработки информации от системы – это этап лексического анализа. Он состоит из нескольких подэтапов, причем непосредственному лексическому анализу (т.е. поиску в файле данных известных системе лексем) предшествуют не менее важные фазы структуризации файла. На рис. 2 приведена схема процесса лексического анализа.

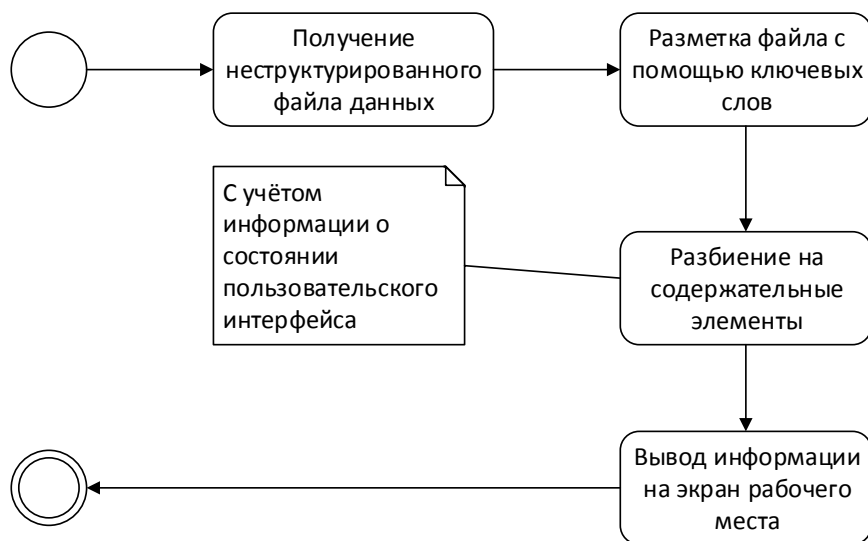


Рис. 2. Процесс лексического анализа информации от системы

Начальная информация от системы имеет вид массивов числовых данных или структурированного текста. Для представления этой информации в удобном для пользователя виде ее нужно разбить на содержательные единицы, а потом уже каждый такой блок в соответствующей форме отобразить на нужном элементе интерфейса. Подобный подход позволит работать с входной информацией произвольного формата и повысить уровень универсальности системы.

Наилучшим вариантом будет реализовать лексический анализатор в виде отдельной программы, а результаты его работы вносить в базу данных (постоянную или временную), откуда данные уже могут использоваться программными средствами управления интерфейсами. Это позволит дополнительно защититься от проблем синхронизации.

Разбиение файла с информацией от системы на содержательные элементы должно учитывать не только структуру файла (лексемы), но и текущее состояние пользовательского интерфейса. В частности, не следует разбивать файл на большее количество содержательных единиц, чем количество элементов вывода в интерфейсе. Если пользовательский интерфейс не имеет необходимых для представления отдельных содержательных элементов форм вывода, то нужно принять дополнительные меры – сообщить об этом проектировщику или психологу (в случае ручного конструирования пользовательского интерфейса) или добавить к интерфейсу соответствующий элемент (в случае автоматической адаптации).

Таким образом, определены необходимые функциональные блоки: конструктор интерфейса; БД для хранения информации о специфике профессиональной деятельности и характеристиках пользователя автоматизированной системы; лексический анализатор. На их основе могут быть созданы программные средства адаптации пользовательского интерфейса. На рис. 3 приведена структура комплекса программных средств в общем виде. Здесь блок «внешняя среда» объединяет в себе саму автоматизированную систему и управляемый объект или процесс, которые являются источниками информации для принятия пользователем системы управленческих решений.

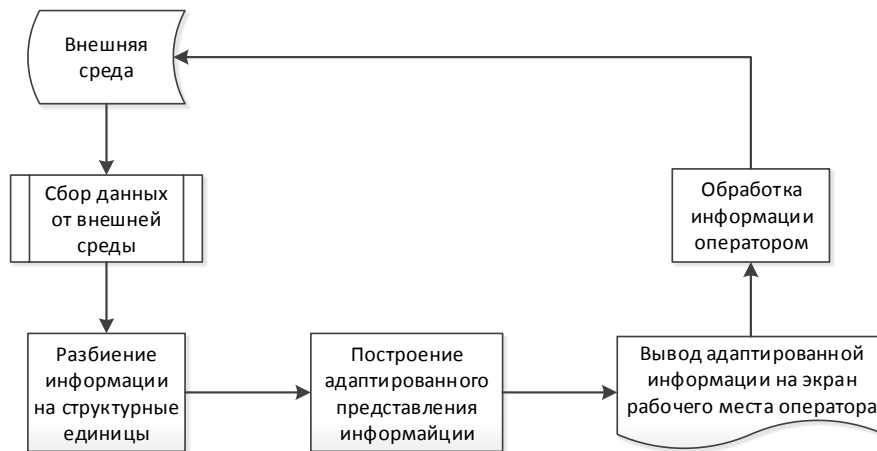


Рис. 3. Архитектура адаптивной информационной системы (обобщенная схема)

Как уже указывалось, при адаптированном представлении информации нужно учитывать специфику деятельности пользователя. В разных случаях для этого можно использовать разные данные: например, технологический процесс управления некоторым производственным объектом может быть использован как основа пошагового сценария взаимодействия пользователя с системой.

Для максимально персонализированной адаптации представления информации от системы целесообразно применить когнитивный подход к моделированию процесса взаимодействия «пользователь-система», учитывающий особенности процессов мышления и восприятие пользователем информации. В этом случае пользователь системы может быть представлен с помощью набора соответствующих характеристик, определяющих форму представления информации, оптимальную для восприятия.

Эти характеристики разделяют на когнитивные, психофизиологические и интеллектуальные.

Когнитивные характеристики определяют, главным образом, скорость, с которой пользователь ориентируется в новой информации и переключается между разными типами деятельности. К ним принадлежат: полезависимость-полнезависимость; узкий-широкий диапазон эквивалентности; импульсивность-рефлексивность; интеллектуальная лабильность-ригидность.

Для каждой из этих характеристик в рамках когнитивной психологии разработаны соответствующие методики диагностирования [8], многие из которых формализованы и математизированы. Поэтому для использования когнитивного подхода к моделированию процесса взаимодействия «пользователь-система» в рамках программного комплекса целесообразно создать подсистему автоматизированной диагностики указанных характеристик, которая реализует выбранные методики. Хотя подобная подсистема не может полностью заменить профессиональное психологическое тестирование, она позволяет решить проблему оперативности диагностирования (при имеющемся в настоящее время недостатке специалистов-психологов).

Для оценки психофизиологического состояния пользователя часто используют такие параметры, как его отношение к риску, качество оперативной памяти и внимание. При тестировании пользователя время реакции на тестовое влияние и ошибки в ответах должны позволить оценивать собранность и координацию действий пользователя, поскольку зависят от его личностных особенностей [9].

К интеллектуальным характеристикам принадлежат уровни IQ и EQ (коэффициенты интеллекта и эмоционального интеллекта соответственно) [10]. Хотя значение коэффициента эмоционального интеллекта связано со значением IQ, прямая зависимость отсутствует, а именно значение EQ определяет склонность к творческому подходу при работе с информацией. Эта характеристика очень важна для пользователей систем проектирования или учебных систем.

Схема функционирования подсистемы автоматизированного диагностирования приведена на рис. 4.

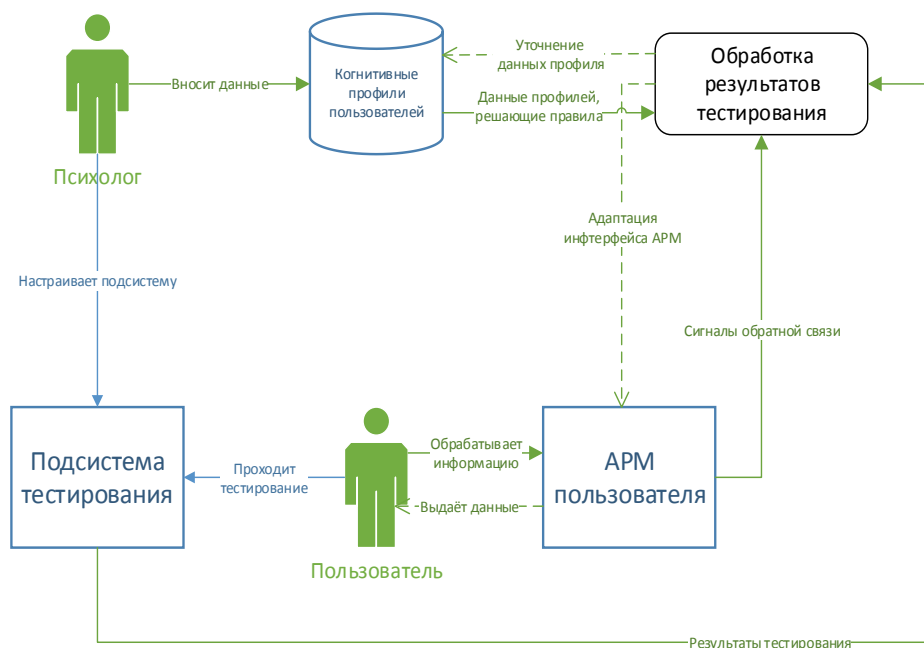


Рис. 4. Архитектура подсистемы автоматизированного диагностирования

**Экспериментальные программные средства.** На основе приведенной на рис. 3 архитектуры для демонстрации принципа работы описанной системы созданы экспериментальные программные средства, схема функционирования которых приведена на рис. 5.

Рассмотрим поэтапно взаимодействие пользователя с программным комплексом адаптации пользовательских интерфейсов в пределах сеанса работы на автоматизированном рабочем месте, созданном по схеме рис. 5.

В первую очередь пользователю предоставляется выбор – желает ли он пользоваться системой адаптации пользовательского интерфейса. При выборе ответа «Нет» пользователь начинает работу со стандартным неадаптированным интерфейсом автоматизированной системы. Если пользователь отвечает «Да», ему выдается окно входа в систему с запросом авторизации. Если для пользователя еще не существует учетная запись, её необходимо создать, используя интерфейс администратора системы адаптации. После авторизации в системе пользователь допускается к работе с адаптированным интерфейсом рабочего места. Начальная конфигурация этого интерфейса может быть задана при создании учетной записи пользователя или оставаться пустой до момента ручной настройки. В зависимости от этого окно интерфейса рабочего места может быть пустым или содержать определенные элементы вывода. Начальный вид рабочего окна приведен на рис. 6.

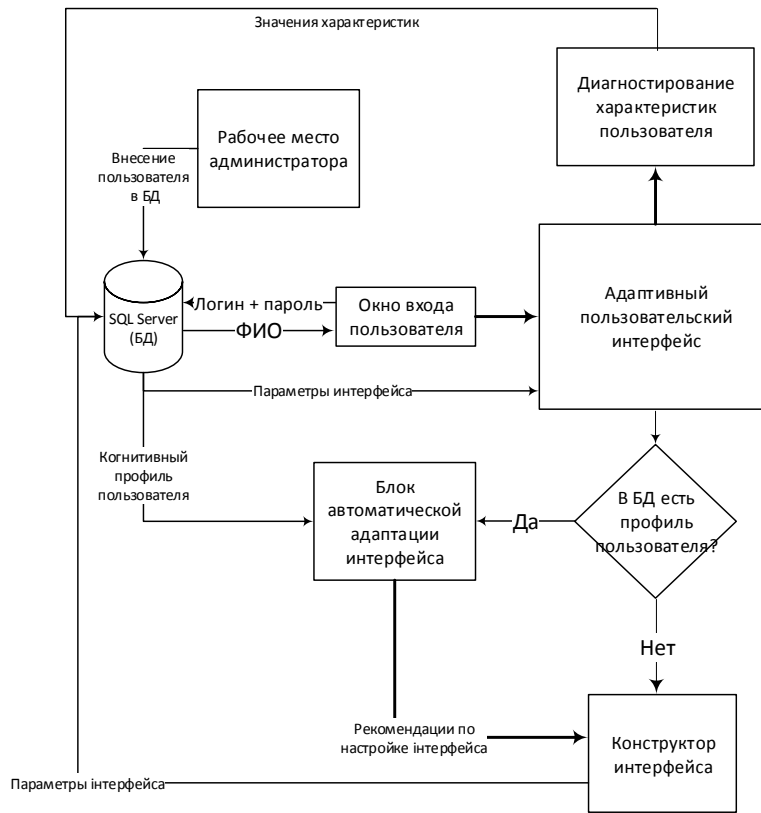


Рис. 5. Блок-схема функционирования программного комплекса

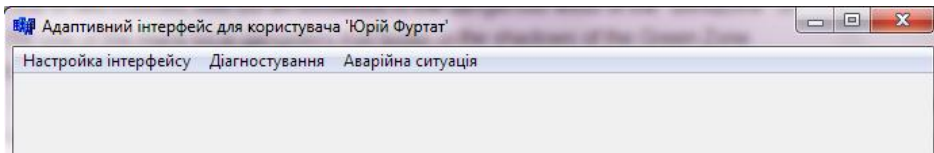


Рис. 6. Верхняя часть окна адаптированного рабочего интерфейса (без элементов вывода)

По умолчанию при работе с адаптированным интерфейсом периодически проверяется уровень внимания пользователя. Каждые 5–30 секунд (интервал меняется после каждой проверки, пользователь может также вручную установить нужное значение в настройках программы) подается звуковой сигнал, а на экране появляется цветная точка, на которую за 5 секунд необходимо нажать курсором мыши. Если необходимо временно отключить проверку уровня внимания пользователя (например, во время аварийной ситуации, когда нужно минимизировать отвлекающие факторы), пункт меню «Аварийная ситуация» останавливает таймер следующей проверки. Восстановить сигналы проверки можно повторным выбором этого же пункта меню.

За весь сеанс работы пользователя с системой ведется подсчет своевременных реакций на проверку уровня внимания. Результаты отображаются в конце сеанса работы и потом используются системой для коррекции когнитивного портрета соответствующего пользователя (уровень внимания пользователя определяет



оптимальную интенсивность информационного потока от системы) и оценки эффективности функционирования адаптивного пользовательского интерфейса (как часть механизма обратной связи, наряду к реакцией пользователя на управляющие элементы интерфейса).

Пункт меню «Настройка интерфейса» позволяет перейти к окну конструктора интерфейса (рис. 7) для его ручной настройки.

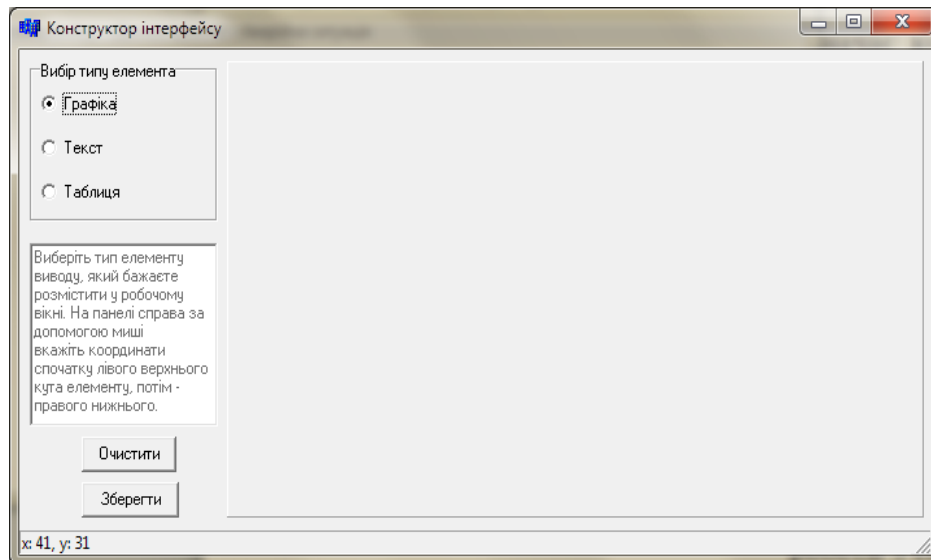


Рис. 7. Окно конструктора интерфейса

При открытии окна конструктора система проверяет, есть ли в БД данные о когнитивном профиле пользователя. Если профиль присутствует, система выводит окно с рекомендацией по конфигурации интерфейса. При отсутствии профиля система сообщает, что не может дать соответствующих рекомендаций.

Принцип работы с конструктором интерфейса указывается в небольшом информационном окне в левой части окна конструктора. Пользователю необходимо указать с помощью мыши координаты окон элементов вывода, выбрав предварительно тип элемента. Процесс настройки интерфейса иллюстрируется на рис. 8.

Кнопка «Очистить» полностью обнуляет текущий макет интерфейса. Кнопка «Сохранить» сохраняет текущий макет в качестве интерфейса активного пользователя. Этот новый интерфейс будет задействован при следующем входе в систему.

Для задействования всего потенциала системы адаптации интерфейса для пользователя нужно создать когнитивный профиль, на который система будет ориентироваться при выдаче рекомендаций и автоматической настройке интерфейса. Для создания когнитивного профиля используются специально отобранные методики диагностирования характеристик пользователя: для диагностирования параметра «полезависимость-полнезависимость» – методика «Фигуры Готтшальдта» [11]; для выявления когнитивного стиля «узкий-широкий диапазон эквивалентности» – методика «Свободная сортировка объектов» [12]; для диагностики когнитивного стиля «импульсивность-рефлексивность» – методика «Сравнение похожих рисунков» [13]; лабильности – методика «Интеллектуальная лабильность» [14].

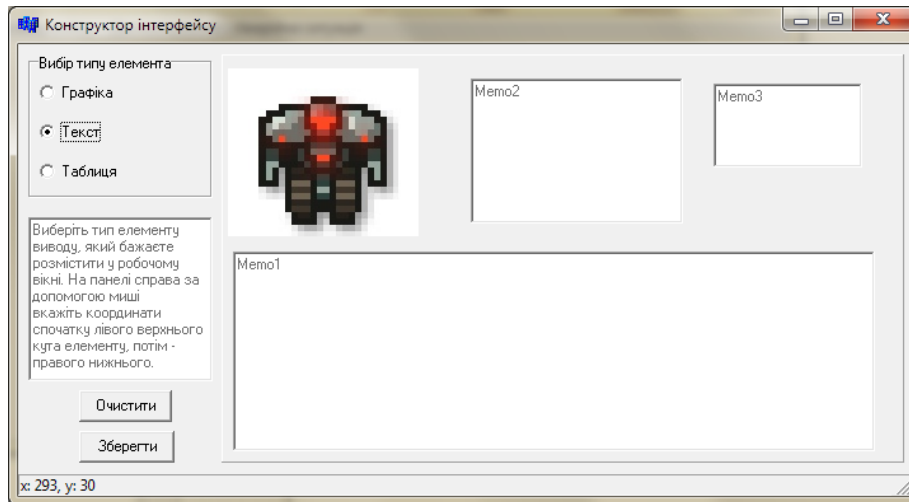


Рис. 8. Настройка пользовательского интерфейса с помощью конструктора

Доступ к окну выбора характеристики для диагностирования осуществляется через меню основного рабочего окна, пункт «Диагностирование».

Результаты тестов обрабатываются по соответствующим методикам и заносятся в БД, наполняя когнитивный профиль пользователя. Чем полнее профиль, тем эффективнее сможет работать механизм адаптации пользовательского интерфейса.

К основным показателям, используемым для оценки эффективности функционирования настраиваемых рабочих интерфейсов, относятся время, затрачиваемое на принятие пользователем решения на основании полученной от системы информации (оцениваемое по сигналам обратной связи от пользователя), а также уровень утомляемости пользователя (оцениваемый по сигналам обратной связи и путём опроса пользователя после завершения сеанса работы). По результатам испытаний, проведенных с использованием экспериментальных программных средств, эти показатели улучшаются (т.е. понижаются) на 7–12 %. При большом количестве сеансов работы пользователя с системой адаптивного управления эффективность рабочего интерфейса дополнительно повышается в результате итерационного процесса подстройки и персонализации.

**Вывод.** Описанные в статье принцип и методика адаптации пользовательских интерфейсов являются реализацией комплексного подхода к этой задаче, учитывающего как когнитивные особенности пользователя системы, так и специфику рабочих процессов. Предложенная на основе этой методики система адаптации пользовательских интерфейсов обладает благодаря этому свойством гибкости и может быть применена в различных сферах деятельности: в системах обучения, принятия решения, автоматизированных системах управления технологическими процессами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зверев Ю.М.* Исследование и разработка адаптивных средств естественно-языкового общения в автоматизированных системах переработки информации: Дисс. ... канд. техн. наук. – Киев: АН УССР, ордена Ленина институт кибернетики им. В.М. Глушкова, 1983. – 198 с.
2. *Радванська Л.М.* Моделі, методи та засоби підвищення ефективності інтерфейсу "користувач - ЕОМ" у системах організаційного управління: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Херсон: ХГТУ, 1999. – 17 с.
3. *Ходаков Д.В.* Моделі, методи та засоби адаптивності користувальницького інтерфейсу: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Херсон: ХГТУ, 2003. – 19 с.

4. Ковальчук А.М. Розробка адаптивного інтерфейсу користувача для програмного забезпечення наближення експериментальних даних: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Киев: ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАНУ, 2002. – 22 с.
5. Крылов А.О. Модели адаптивных пользовательских интерфейсов систем автоматизации проектирования в строительстве: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М.: ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2011. – 16 с.
6. Verlan A.F., Furtat Yu.O. Methods for Flexible User Interfaces Adaptation in Complex Automated Systems – Proceedings of the Seventh World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation WCIS-2012. – Tashkent, Uzbekistan, 2012. – P. 47-50.
7. Christopher D. Wickens. “Imperfect and Unreliable Automation and Its Implications For Attention Allocation, Information Access and Situation Awareness”, Technical Report ARL-00-10/NASA-00-2, Aviation Research Lab Institute of Aviation in University of Illinois, 2000. – 28 p.
8. Янушкин В.Н. Взаимная адаптация образа объекта и структура мнемосхемы в процессе обучения операторов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата психологических наук. – М.: Институт психологии АН СССР, 1984. – 145 с.
9. Верлань А.Ф., Сопель М.Ф., Фуртат Ю.О. Особенности оперативного тестирования на рабочем месте операторов систем поддержки принятия решений (СППР) // Сборник научных трудов “Математическое и компьютерное моделирование”. Серия: Технические науки. Института кибернетики им. В.Г. Глушкова НАН Украины и Каменец-Подольского национального университета им. Ивана Огиенко. – Каменец-Подольский: Каменец-Подольский национальный университет им. Ивана Огиенко, 2010. – Вып. 3. – С. 37-45.
10. Коэффициент интеллекта. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Коэффициент\\_интеллекта](http://ru.wikipedia.org/wiki/Коэффициент_интеллекта) (дата обращения: 23.10.2013).
11. Методика «Фигуры Готтшальдта». URL: <http://azps.ru/tests/2/gotsh.html> (дата обращения: 28.10.2013).
12. Методика «Свободная сортировка объектов». URL: [http://psihologia.biz/psihologiya-psihologiya-obschaya\\_693/metodiki-diaagnostiki-uzosti-shirotyi-diapazona-32251.html](http://psihologia.biz/psihologiya-psihologiya-obschaya_693/metodiki-diaagnostiki-uzosti-shirotyi-diapazona-32251.html) (дата обращения: 28.10.2013).
13. Методика «Сравнение похожих рисунков». URL: <http://www.psychologisttoday.ru/study-15-1.html> (дата обращения: 28.10.2013).
14. Методика «Интеллектуальная лабильность». URL: <http://psylist.net/praktikum/labi.htm> (дата обращения: 28.10.2013).

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. М.А. Новотарский.

**Верлань Анатолий Фёдорович** – Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины; e-mail: [a.f.verlan@gmail.com](mailto:a.f.verlan@gmail.com); Украина, 03164, г. Киев, ул. генерала Наумова, 15; тел.: +380444243541; зав. отделом моделирования динамических систем; профессор.

**Фуртат Юрий Олегович** – e-mail: [saodhar@ukr.net](mailto:saodhar@ukr.net); тел.: +380631267218; младший научный сотрудник.

**Сопель Михаил Фёдорович** – Институт электродинамики НАН Украины; e-mail: [amf@elan-ua.net](mailto:amf@elan-ua.net); Украина, 03057, г. Киев, просп. Победы, 56; тел.: +380444584555; ведущий научный сотрудник; доцент.

**Verlan Anatolii Fedorovich** – Pukhov Institute for Modeling in Energy Engineering National Academy of Sciences of Ukraine; e-mail: [a.f.verlan@gmail.com](mailto:a.f.verlan@gmail.com); 15, General Naumov street, Kyiv, 03164, Ukraine; phone: +380444243541; head of dynamic systems modeling department; professor.

**Furtat Yurii Olegovich** – e-mail: [saodhar@ukr.net](mailto:saodhar@ukr.net); phone: +380631267218; junior researcher.

**Sopel Mikhail Fedorovich** – National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Electrodynamics; e-mail: [amf@elan-ua.net](mailto:amf@elan-ua.net); 56, Pobedy ave., Kyiv, 03057, Ukraine; phone: +380444584555; leading researcher; associate professor.