

УДК 004.31

Модели и методы коммуникации пользователя и эксперта САПР в режиме обучения через деятельность¹

Е.Р. Пантелеев, В.А. Зуйков, А.Ю. Катанаев
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
г. Иваново, Российская Федерация
E-mail: erp@poks.ispu.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Современные САПР, многократно повышая эффективность и качество решения проектных задач, одновременно радикально меняют сам подход к их решению. Это порождает несоответствие между возможностями, предоставляемыми новыми технологиями, и степенью готовности проектировщиков к их эффективному использованию. Общеизвестно, что наиболее эффективным способом преодоления этого дефицита является обучение пользователей САПР в процессе решения задач проектирования. Однако известные подходы к реализации обучения через деятельность обладают рядом существенных недостатков, главными из которых являются высокая стоимость предлагаемых решений и/или их ориентация на конкретный продукт. В связи с этим актуальной задачей является разработка инвариантных к целевой САПР моделей и методов двусторонней коммуникации проектировщика и эксперта в целях обучения в процессе решения задач автоматизированного проектирования.

Материалы и методы: В процессе исследования использованы методы перехвата сообщений операционной системы о событиях, вызванных действиями пользователя и адресованных оконной функции приложения САПР, модели и методы представления знаний, объектно-ориентированного программирования и управления базами данных.

Результаты: Разработан инвариантный к целевой САПР комплекс моделей и методов регистрации и воспроизведения действий пользователя в процессе автоматизированного проектирования, обеспечивающий возможность объективной экспертизы этих действий и формирования контекстных методических рекомендаций, включающий в себя фреймовую модель представления сообщений о действиях пользователя, транзакционную модель фильтрации этих действий, модель их локального контекста и основанные на применении этих моделей методы регистрации и воспроизведения сценариев решения проектных задач. Комплекс программно реализован в виде приложения AddInCAD.

Выводы: Приложение AddInCAD апробировано на продуктах компании CSoft – отечественного производителя САПР. В процессе опытной эксплуатации подтверждена возможность организации эффективного взаимодействия проектировщика и эксперта на уровне сценариев автоматизированного проектирования при решении профессиональных задач.

Ключевые слова: автоматизация проектирования, обучение через деятельность, коммуникация пользователя и эксперта.

Models and methods of CAD user and CAD expert communication in «learning by doing» mode¹

E.R. Panteleyev, V.A. Zuykov, A.U. Katanayev
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: erp@poks.ispu.ru

Abstract

Background: Contemporary CAD systems multiply the efficiency and quality of design solutions, and change their very design paradigm. This causes a mismatch between the opportunities provided by CAD technologies and the ability of CAD users to apply them effectively. It is generally recognized that the most effective way to overcome this problem is training CAD users in «learning by doing» mode. However, the known approaches to the implementation of learning by doing have some drawbacks, the most significant ones are the high cost of the proposed solutions and/or focus on a specific CAD product. Therefore, this study focuses on developing models and methods of two-way CAD user – CAD expert communication which are invariant to a specific CAD for the purpose of training while solving CAD problems.

Materials and methods: The study used the methods of hooking the operating system messages about events caused by user actions and addressed to the window function of CAD application as well as models and methods of knowledge representation, object-oriented programming and database management.

Results: We have developed a set of models and methods to record and playback CAD user actions. These models and methods are invariant to specific CAD systems and provide an objective examination of these actions and formation of contextual guidelines. They include a frame-based model of user actions, a transactional model of action filtration, a local con-

¹ Данное исследование было выполнено по программе «Старт» Фонда содействия инновациям (договор № 588ГС1/15709 от 03.08.2015).

text model and methods of recording and playback of design scripts based on the above-mentioned models. This set of models and methods is implemented as AddInCAD application.

Conclusions. The AddInCAD application has been tested on CAD systems provided by CSoft company, a Russian CAD manufacturer. The testing has confirmed the possibility of script-based interaction between CAD user and CAD expert in «learning by doing» mode.

Key words: design automation, learning by doing, user-expert interaction.

DOI: 10.17588/2072-2672.2016.5.060-069

Введение. Автоматизированное проектирование уже давно стало глобально доминирующей технологией в этой сфере инженерной деятельности. Рынок САПР продолжает расширяться, причем, по мнению Эвина Яреса (Evin Yares), видного зарубежного САПР-эксперта, Россия является одним из мировых центров разработки передовых САПР². Широкомасштабное внедрение технологий автоматизированного проектирования, наряду с общеизвестными преимуществами автоматизации, вызвало к жизни феномен кардинальной смены парадигмы проектирования [1]. Характерным признаком новой парадигмы является комплексный подход на основе системного применения математических моделей объекта проектирования. Такой подход реализован, например, в отечественной САПР AutomatiCS [5]. Предметной областью этой САПР является проектирование систем контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА). САПР AutomatiCS представляет процесс проектирования КИПиА как непрерывную эволюцию единой модели проекта от технического задания на проектирование до проектно-конструкторской документации, тогда как традиционный подход предполагает распределение задач проектирования между подразделениями проектной организации с итеративным согласованием результатов, приводящим к непроизводительным затратам времени и ошибкам многократного ввода данных. Платой за преимущества автоматизации является необходимость обучения проектировщиков принципиально новым подходам к решению профессиональных задач.

Мировой опыт позволяет утверждать, что профессиональная практика является метафорой эффективного обучения. В подтверждение этого тезиса можно сослаться на результаты исследований в области интеграции инженерной теории и практики во французском [3], американском [2] и российском образовании [6, 7]. В сфере продолженного образования подобный подход в наибольшей степени реализуется в рамках очных курсов обучения САПР, предлагаемых крупными производителями. Однако при том, что слушатель очных курсов имеет возможность непосредственного участия в решении профессиональных задач, этот подход имеет очевидные недостатки. Это высокая стоимость обучения, иногда соизме-

римая со стоимостью самого программного продукта, и необходимость отрыва сотрудников от основной работы. Кроме того, очное обучение обычно проводится параллельно с закупкой САПР, поэтому слушатели не имеют достаточного представления о возможностях и «подводных камнях» новой технологии и не всегда способны адекватно оценить предлагаемые решения. В связи с этим представляет интерес прецедент встраивания средств поддержки решения задач в игровом режиме непосредственно в приложение AutoCAD [4]. Благодаря этому начинающий пользователь AutoCAD имеет возможность совершенствовать свои профессиональные навыки непосредственно на рабочем месте. Однако, во-первых, предлагаемая поддержка распространяется только на примитивные типовые задачи; во-вторых, далеко не все САПР имеют степень открытости, допускающую такое встраивание; в-третьих, далеко не все производители САПР располагают ресурсами для модификации своих продуктов в этом направлении. Поэтому разработка методов и средств компьютерной поддержки обучения пользователей САПР в процессе решения профессиональных задач, позволяющих преодолеть отмеченные недостатки, сохраняет свою актуальность.

Учитывая сложность данной задачи, в ее решении целесообразно выделить несколько этапов. Первый этап, целью которого является разработка инвариантных моделей и методов двусторонней коммуникации проектировщика и эксперта в процессе решения задач автоматизированного проектирования, составляет содержание настоящего исследования.

Методы исследования. Отправной точкой в определении методов исследования является понятие обучения через деятельность, трактуемое как итерационный процесс, включающий следующие этапы:

- 1) регистрация действий проектировщика с элементами интерфейса приложения САПР в процессе решения задачи автоматизированного проектирования;
- 2) интерпретация и оценка этих действий экспертом;
- 3) формирование контекстных экспертных рекомендаций в формате эталонного сценария решения задачи.

Иными словами, под обучением в рамках данного исследования понимается двусторонний процесс передачи знаний о сценариях ре-

² <http://www.3dcadworld.com/russian-cad>

шения задач автоматизированного проектирования между пользователем и экспертом САПР.

Атомарной единицей такого сценария является событие воздействия проектировщика на элемент интерфейса приложения САПР (пункт меню, кнопку, текстовое или графическое поле и т.п.). Это событие необходимо зарегистрировать и представить информацию о нем в формате, допускающем последующее воспроизведение.

Самым простым способом регистрации для конкретной САПР было бы встраивание регистратора непосредственно в приложение. Однако это решение не подходит для существующих САПР (исключением можно считать уже упоминавшийся вариант регистрации действий пользователя в среде AutoCAD, рассмотренный в [4]), так как в подавляющем большинстве случаев они либо не обладают необходимой для этого степенью открытости, либо поставщик САПР не имеет ресурсов для подобной модификации. Следовательно, необходимо рассматривать вариант регистрации действий пользователя путем перехвата соответствующих событий операционной системы (ОС) при помощи стороннего приложения. Любое оконное приложение, в том числе приложение САПР, в какой бы среде оно ни было реализовано, управляется потоком событий от операционной системы (ОС). Например, ОС сообщает приложению о событии взаимодействия пользователя с одним из элементов его интерфейса (кнопкой, пунктом меню, клиентской областью и т.п.). Приложение обрабатывает сообщение, изменяя при этом состояние данных в соответствии со своей внутренней логикой (инициирует действия с файлом, выбранным в результате завершения диалога, выполняет отрисовку чертежа в клиентской области). Задача регистрации действий пользователя САПР требует модификации описанной выше стандартной схемы обработки сообщений, а именно организации перехвата сообщений ОС до того, как они поступили на обработку оконной функции приложения. Подобная потребность возникает и при решении ряда других задач системного программирования, поэтому такие ОС, как Windows, Linux, MAC OS, предоставляют программисту механизмы для организации перехвата, известные под общим названием хукинг (hooking) [11–13]. В ОС Windows с этой целью программист определяет специальные функции перехвата, которые ОС вызывает в случае возникновения соответствующего события. В последних версиях ОС Linux появился специальный механизм LSM (Linux Security Modules) – набор предустановленных в ядре ОС хуков, которые предоставляют программный интерфейс для внедрения собственных обработчиков. В MAC OS для организации перехвата необходимо объявить класс-потомок `wxEvtHandler` – обра-

ботчика событий приложения по умолчанию – и определить в этом классе методы для всех событий, которые предполагается обрабатывать. Наличие реализаций механизма хукинга во всех наиболее популярных ОС позволяет утверждать, что методы решения задачи регистрации событий, основанные на использовании этого механизма и реализованные в рамках настоящего исследования в среде ОС Windows, обладают общностью, позволяющей воспроизвести их и в других ОС.

Выбор формата представления знаний о событии основан на том, что предметная область регистрации действий пользователя в среде САПР характеризуется наличием явно специфицированных информационных единиц (событий взаимодействия) и иерархических родо-видовых отношений между ними (так, в зависимости от типа элемента интерфейса, на который направлено действие, следует различать события от элементов управления и события в клиентской области приложения). Учитывая эти свойства предметной области, наиболее адекватным форматом представления знаний о событии следует считать фрейм. Согласно классическому определению, фрейм – это способ представления знаний о стереотипной ситуации в формате набора атрибутов (слотов) и их декларативных или процедурных значений [15]. Применительно к решаемой задаче, фрейм события – это структура, содержащая информацию об объекте (идентификатор элемента интерфейса) и параметрах (тип и атрибуты) действия, а также о методах его регистрации и воспроизведения, поэтому на уровне инженерной реализации фреймовая концепция представлена объектно-ориентированной моделью.

Сценарий действий пользователя САПР представляет собой упорядоченную по времени наступления цепочку событий. Однако, формируя эту цепочку, следует учитывать, что действия неопытного проектировщика характеризуются слабой целенаправленностью. Это проявляется в безрезультатных перемещениях по элементам интерфейса, затрудняющих экспертизу истинных намерений проектировщика, и порождает проблему выделения кратчайших результативных последовательностей действий. Адекватной моделью кратчайшей результативной последовательности является транзакция. Под транзакцией в программировании баз данных понимается последовательность действий по переводу базы в очередное непротворечивое состояние, которая либо выполняется целиком, либо отменяется [14]. В рамках предлагаемой аналогии транзакцией называется неделимая цепочка действий от выбора операции (идентифицируемой, например, пунктом меню приложения) до принятия решения о ее выполнении (например, в форме позитивного завершения диалога). Принятие позитивного

решения соответствует успешному завершению транзакции, негативное решение или любое другое действие вне контекста операции (например, действие, активирующее другую операцию) инициирует откат транзакции.

Для корректного воспроизведения записанного сценария необходимо учитывать, что семантика выполняемого пользователем действия зависит не только от самого действия, но и от состояния перманентных данных, к которым оно применяется. Так, если действие заключается в выборе элемента данных из справочника, то его результат зависит от состояния этого справочника. Таким образом, контекст действий проектировщика, то есть те перманентные данные, которые фактически были изменены в ходе сеанса регистрации, должен быть передан эксперту в качестве атрибута записанного сценария. То же самое справедливо и для оценки действий эксперта проектировщиком. Следовательно, необходим механизм обработки событий, приводящих к изменению состояния перманентных данных, аналогичный тому, который для этой же цели используется в программировании баз данных и называется триггером (обработчик события, приводящего к изменению состояния таблицы) [14].

Результаты исследования. Интегральным результатом исследования является инвариантный к целевой САПР комплекс моделей и методов регистрации и воспроизведения действий пользователя в процессе автоматизированного проектирования, обеспечивающий возможность объективной экспертизы этих действий и формирования контекстных мето-

дических рекомендаций. Этот комплекс включает в себя следующие элементы.

Модель представления сценария автоматизированного проектирования. Назначение этой модели – регистрация и последующее воспроизведение сценария автоматизированного проектирования в виде последовательности составляющих этот сценарий событий.

Синтаксически модель события представляет собой фреймовую структуру $F(P, M)$, где P – множество декларативных слотов и M – множество процедурных слотов. Набор слотов конкретного фрейма определяется его местом в родо-видовой иерархии (иерархии наследования). Ее структура показана на рис. 1.

Любой объект в этой иерархии обладает свойствами и поведением суперкласса «Абстрактное событие». А именно, имеет свойство «Комментарий», которое определяет содержание комментария к событию, инкремент продвижения по сценарию (свойство «Шаг»), методы конструирования объектов в режимах записи и воспроизведения, а также собственно методы записи и воспроизведения. Некоторые из этих свойств и методов перекрываются у объектов-потомков. Так, для события управления, которое вносится в сценарий экспертом для изменения линейной последовательности действий и не является следствием взаимодействия пользователя с интерфейсом, значение свойства «Шаг» отличается от принятого по умолчанию. Перекрываются и методы, определяющие специфику обработки конкретного события.

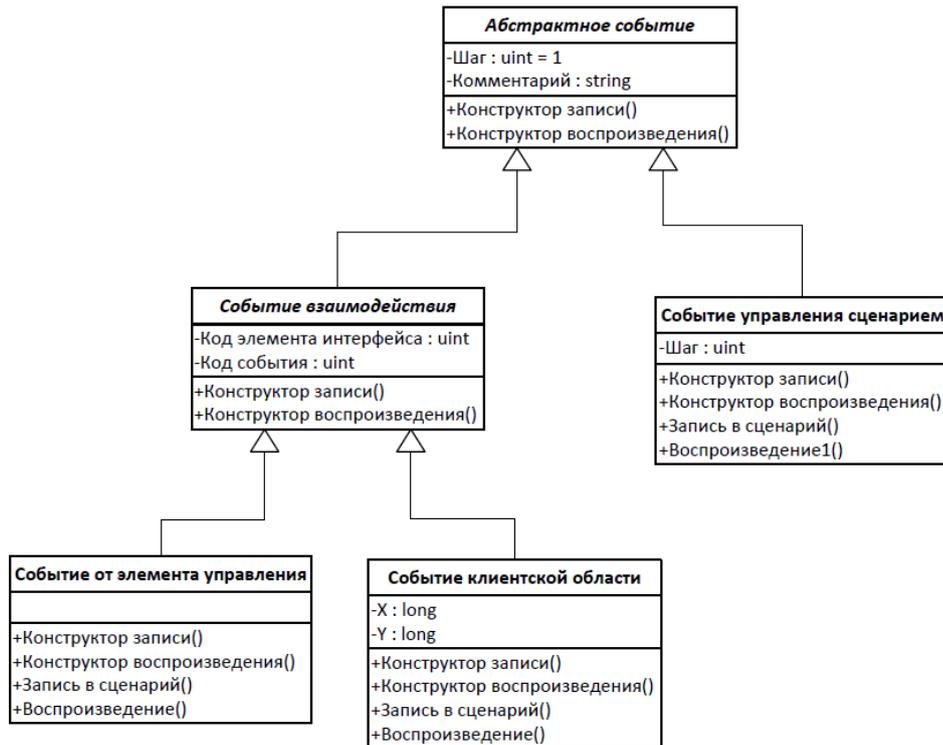


Рис. 1. Родо-видовая иерархия событий

Воспроизведение любого события взаимодействия предполагает выделение элемента интерфейса, на который направлено действие, комментарий к этому действию и перемещение к очередному действию сценария, в то время как воспроизведение события управления предполагает только комментарий, реакция на который определяет следующее действие. Кроме того, у объектов-потомков появляются оригинальные свойства, модифицирующие их поведение. Например, свойство «Код элемента интерфейса» определяет, какой элемент интерфейса следует выделить в качестве объекта предполагаемого действия при воспроизведении, а свойство «Код события» фиксирует, какое действие (выбор, вызов контекстного меню, щелчок мыши, перетаскивание мыши) надо применить к этому элементу.

Идентификация элемента интерфейса САПР, на который направлено действие, составляет отдельную проблему. Дело в том, что регистратор не имеет априорной информации о древовидной структуре интерфейса целевой САПР и восстанавливает ее динамически, добавляя новые элементы по мере того, как пользователь использует их в ходе сценария регистрации. Процедура добавления нового элемента включает присвоение ему уникального инкрементного кода и идентификацию цепочки родительских элементов для встраивания в древовидную структуру интерфейса.

Семантика действий пользователя САПР определяется состоянием перманентных данных, или информационным контекстом приложения (справочников, файлов проекта и т.п.). Поэтому для однозначной интерпретации действий проектировщика экспертом необходимо:

- определить множество файлов данных, образующих контекст;
- в процессе регистрации действий проектировщика зафиксировать те файлы контекста, которые были использованы в ходе сценария работы;
- перед началом воспроизведения сценария скопировать эти файлы в соответствующие каталоги компьютера эксперта.

Решение этих задач обеспечивается моделью контекста, которая включает в себя определение множества перманентных данных D , составляющих контекст приложения, функционального соответствия $G_1 \subseteq D \times C$ между D и C – множеством каталогов размещения файлов САПР и функционального соответствия $G_2 \subseteq I \times D$ между множеством I элементов интерфейса САПР и множеством контекста D .

Прагматика действий пользователя определяется в терминах ранее введенного понятия транзакции (цепочки результативных действий). Определение транзакции включает в себя множество $B = \{b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n\}$ точек начала транзакции, где b_i – событие взаимодействия, открывающее транзакцию, и определенные на этом множестве производные

правила вида: ЕСЛИ $b_i \in B$ ТО $E_i = \{e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{ij}, \dots, e_{ik}\}$ – множество точек завершения транзакции, И $R_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{ij}, \dots, r_{ik}\}$ – множество точек отката транзакции.

Методы регистрации и воспроизведения сценария. Ключевыми методами взаимодействия проектировщика и эксперта в контексте сценария автоматизированного проектирования являются методы регистрации (записи сценария) и воспроизведения/редактирования сценария. Реализующие их алгоритмы предусматривают работу в привилегированном режиме, доступном только эксперту. Этот режим позволяет комментировать действия при записи сценария и редактировать сценарий проектировщика в процессе его воспроизведения. Алгоритм регистрации предусматривает также фильтрацию событий сценария в соответствии с определением транзакций и формирование контекста:

- Установить режим регистрации;
- Начать (продолжить) запись стека сценария S ;
- ПОКА не конец сеанса ВЫПОЛНЯТЬ
 - Перехватить событие;
 - Создать фрейм f события
 - Включить f . Код элемента в журнал сканирования J ;
 - ЕСЛИ режим привилегированный ТО редактировать f . Комментарий
 - Записать f в S ;
 - ЕСЛИ f . Код события = $b_i \in B$ ТО установить указатель p начала транзакции в S
 - ЕСЛИ $f \in R_i$ И p установлен ТО сбросить транзакцию в S , сбросить p
 - ЕСЛИ $f \in E_i$ И p установлен ТО сбросить p ;
 - ЕСЛИ f . Код элемента $\in G_2$ ТО зарегистрировать файл контекста d_i ;
- Сохранить S, J, D .

Алгоритм пошагового воспроизведения сценария предполагает возможность его редактирования путем активации вложенного режима записи:

- Установить режим воспроизведения;
- Восстановить контекст D ;
- ПОКА не конец сценария S ВЫПОЛНЯТЬ:
 - Создать фрейм события f ;
 - Воспроизвести f ;
 - ЕСЛИ f . Код события = управление ТО вывести навигационную рекомендацию
 - ИНАЧЕ вывести f . Комментарий
 - ЕСЛИ режим привилегированный И запрошена запись ТО
 - Сформировать событие управления
 - Включить запись эталонного сценария

Программная реализация результатов исследования. Описанные выше результаты реализованы в виде приложения AddInCAD [16], которое работает под управлением ОС Windows и устанавливается на компьютерах пользователя и эксперта. Для иллюстрации качественных изменений стили взаимодействия проектировщика и эксперта в результате внедрения предложенных методов коммуникации рассмотрим несколько проблемных ситуаций, возникших в процессе работы проектировщика в САПР EnergyCS [17].

Традиционно как проблемная ситуация, так и рекомендации по ее разрешению описываются в вербальной форме с произвольным уровнем детализации. Вот несколько примеров из практики эксплуатации EnergyCS (см. таблицу).

Основной недостаток подобного диалога состоит в том, что рекомендации эксперта проектировщик должен перенести в среду САПР вручную. Кроме того, произвольная форма описания проблемы и решения не исключает возможности их ошибочного истолкования, что влечет за собой увеличение числа консультативных «итераций». Если последний недостаток может быть устранен использованием аудиовизуального формата диалога, то необходимость «ручного» воспроизведения экспертных рекомендаций, также чреватого ошибками, в рамках такого подхода неустранима.

Рассмотрим способы регистрации проблемного сценария проектировщиком, его воспроизведения и редактирования экспертом и последующего применения экспертных рекомендаций в рамках предлагаемого подхода.

Предположим, что проектировщик решил зарегистрировать проблемный сценарий решения задачи расцветки схемы (проблема 3) для последующих консультаций с экспертом. Смысл процедуры расцветки заключается в визуальной декомпозиции схемы либо по выбранному параметру, либо по условиям расчета. С помощью расцветки можно, например,

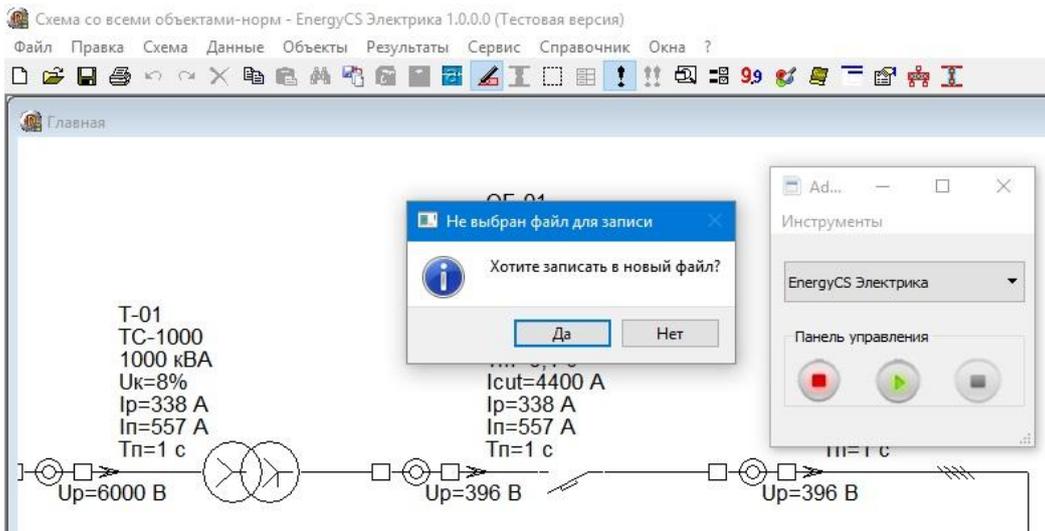
увидеть распределение элементов схемы по помещениям, по источникам питания или по другим важным для проектировщика параметрам. Расцветка схемы по условиям выделяет цветом элементы схемы, на которых имеет место нарушение условий. Чтобы зарегистрировать сценарий, проектировщику надо активировать приложение AddInCAD, выбрать приложение EnergyCS (оно должно быть активным) и запустить запись сценария (рис. 2,а).

Прозрачный для проектировщика сеанс записи завершается в проблемной точке нажатием соответствующей кнопки на панели AddInCAD (рис. 2,б). После завершения сеанса формируется архивный файл, главным компонентом которого является записанный сценарий (рис. 2,в). Этот сценарий содержит четыре действия над элементами интерфейса, представленных парами соответствующих кодов. В привязке сценария к интерфейсу приложения (рис. 2,а) эти действия соответствуют выбору кнопки «Расцветка» на панели инструментов для расцветки схемы и одного из пунктов выпадающего меню для выбора типа расцветки. Эта пара действий составляет завершённую транзакцию, определение которой показано на рис. 2,г. Таким образом, нецеленаправленные действия проектировщика (например, проектировщик мог выбрать расцветку, но не указать ее тип), если они имели место, будут исключены из сценария. Далее проектировщик пытается самостоятельно решить проблему, выбирая меню «Объекты» из пункта «Ветви» в этом меню, но, потерпев неудачу, формулирует проблему (рис. 2,б) и завершает запись сценария.

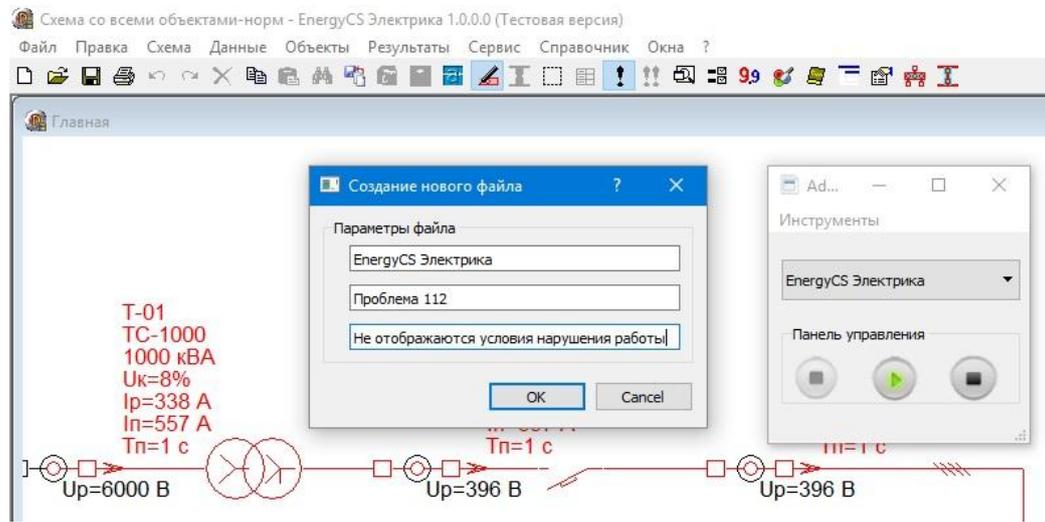
Эксперт получает описание проблемы, запустив регистратор в режиме воспроизведения переданного ему проектировщиком архивного файла. Просмотр действий проектировщика выполняется в пошаговом режиме с выделением элемента интерфейса, на который должно быть направлено очередное действие.

Вербальное описание проблемных ситуаций

№ п/п	Описание проблемы	Рекомендации эксперта по ее разрешению
1	Не получается ввести параметры нагрузки	Решение: сначала нужно ввести ОБОЗНАЧЕНИЕ электроприемника, после этого будут доступны колонки для редактирования
2	У автоматического выключателя не выводятся токи короткого замыкания при расчете	Не установлен расцепитель. Решение: установить расцепитель
3	Поставил расцветку схемы «По условиям». После расчета часть объектов выделена красным цветом. Почему?	Варианты решения: 1. Зайти в меню «Результаты/Нарушенные условия» – появится список всех ошибок, кликая по каждой строке, программа будет показывать этот объект. 2. В меню «Отображаемые параметры» поставить галочку на п.1. «Нарушенные условия работы», после этого у объектов с красным текстом появится дополнительный параметр, например Идоп!, Сел!, Жилы! и т.д. Расшифровка этих обозначений приведена в Руководстве пользователя



а)



б)

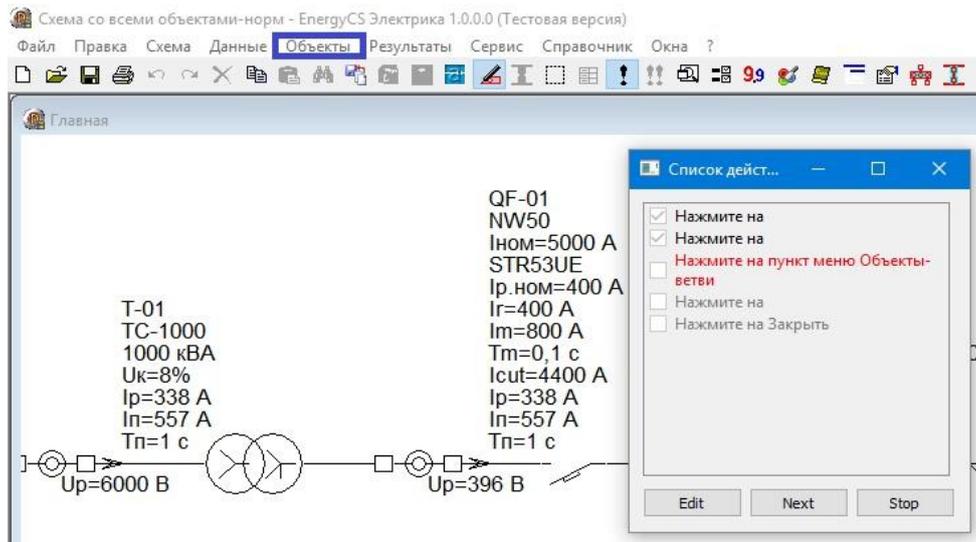
```
{
  "data": [
    {
      "id_action": 32787,
      "id_element": 859
    },
    {
      "id_action": 32787,
      "id_element": 863
    },
    {
      "id_action": 32787,
      "id_element": 821
    },
    {
      "id_action": 32787,
      "id_element": 81
    },
    {
      "name": "Не отображаются условия нарушения работы"
    }
  ]
}
```

в)

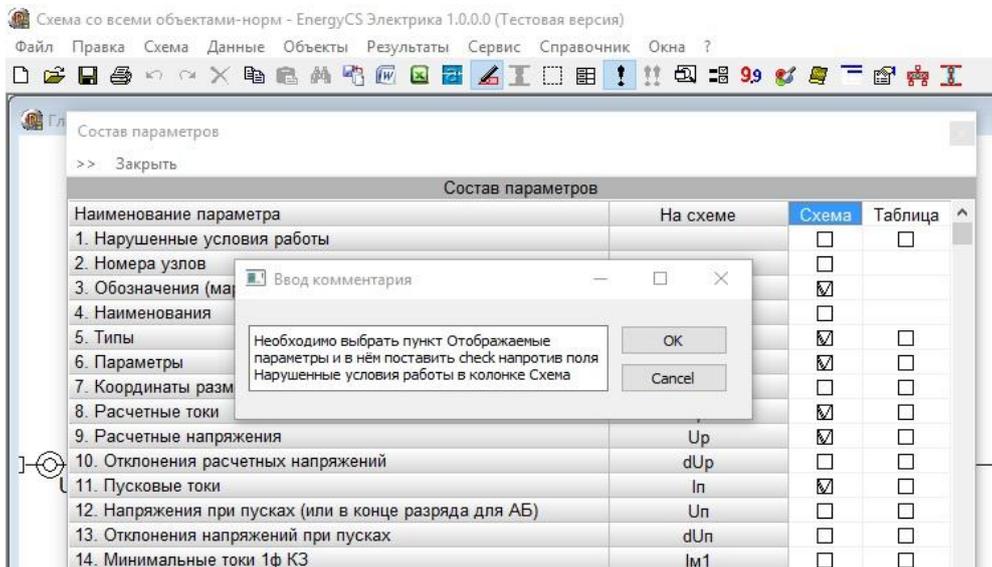
```
"transactions": [
  {
    "id_transaction": 1,
    "start_transaction": [
      {
        "id_action": 32787,
        "id_element": 859
      }
    ],
    "accept_transaction": [
      {
        "id_action": 32787,
        "id_element": 863
      }
    ],
    "rollback_transaction": [
      {
        "id_action": 32787,
        "id_element": 862
      }
    ]
  }
]
```

г)

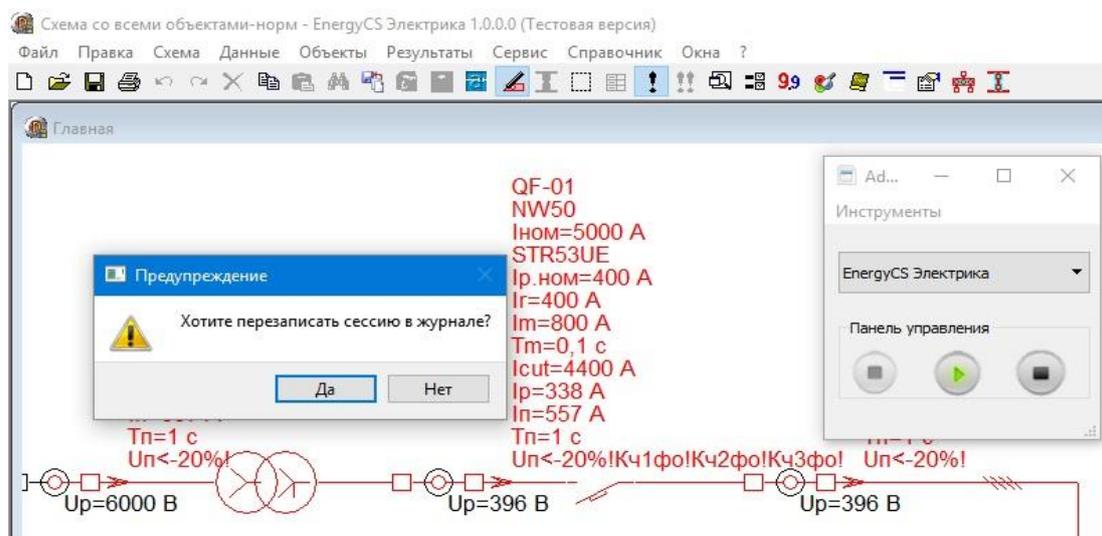
Рис. 2. Сеанс записи сценария в AddInCAD: а – начало сеанса; б – завершение сеанса; в – журнал сценария; г – определение транзакции



а)



б)



в)

Рис. 3. Экспертиза сценария проектировщика: а – воспроизведение проблемного сценария; б – редактирование сценария проектировщика экспертом; в – завершение записи эталонного сценария

На (рис. 3,а) регистратор выделил такой элемент рамкой. Выбрать тип действия помогает журнал комментариев, который при записи сценария проектировщика формируется автоматически. Показанная на рис. 3,а ситуация соответствует проблемной точке сценария, в которой действия пользователя расходятся с эталонными. Из двух имеющихся вариантов решения проблемы (см. таблицу) эксперт предлагает второй вариант. Затем он редактирует сценарий проектировщика, выполняя запись эталонных действий и сопровождая эти действия комментариями (рис. 3,б), сохраняет измененный файл (рис. 3,в) и отправляет его проектировщику, а проектировщик в процессе воспроизведения эталонного сценария руководствуется пошаговыми комментариями эксперта.

Выводы. В результате исследования разработаны модели и методы регистрации сценариев действий пользователя в среде САПР. Реализующее их приложение AddInCAD предназначено для поддержки обучения проектировщиков в процессе решения задач автоматизированного проектирования путем обеспечения двусторонней коммуникации проектировщика и эксперта на уровне сценариев проблемных и эталонных действий. Апробация приложения AddInCAD на продуктах отечественной компании CSoft подтвердила состоятельность предложенного подхода. Его преимущество заключается в том, что анализ проблемной ситуации экспертом и восприятие эталонного решения проектировщиком выполняются непосредственно в среде САПР, благодаря чему исключаются непроизводительные затраты времени на анализ вербальных описаний и возможность их неверного истолкования. Опыт практического использования AddInCAD показал, что данный подход способствует повышению эффективности процесса обучения проектировщиков за счет исключения консультативных итераций и создания базы эталонных сценариев решения типовых проблем.

В качестве перспективных направлений продолжения исследований можно указать поиск решений для унификации коммуникационных взаимодействий проектировщика и эксперта, позволяющих поставщику упорядочить процесс методического сопровождения САПР, а также разработку методов интеллектуального анализа действий проектировщика, позволяющих решить некоторые проблемы без обращения к эксперту.

Авторы выражают благодарность разработчикам и менеджерам CSoft за возможность использования программных продуктов компании в ходе испытаний и ценные рекомендации по их эксплуатации.

Список литературы

1. **Oxman R.** Theory and design in the first digital age // Design studies. – 2006. – Т. 27, №. 3. – С. 229–265. doi:10.1016/j.destud.2005.11.002

2. **Carlson L.E., Sullivan J.F.** Hands-on engineering: learning by doing in the integrated teaching and learning program // International Journal of Engineering Education. – 1999. – Т. 15, №. 1. – С. 20–31.

3. **de Vries E.** Students' construction of external representations in design-based learning situations // Learning and instruction. – 2006. – Т. 16, №. 3. – С. 213–227. doi:10.1016/j.learninstruc.2006.03.006

4. **Li W., Grossman T., Fitzmaurice G.** Gamified CAD: a gamified tutorial system for first time autocad users // Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology. – ACM, 2012. – С. 103–112.

5. **Целищев Е.С., Глянцева А.В., Кудряшов И.С.** Методики эффективной автоматизации проектирования технического обеспечения АСУТП: учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2012. – 196 с.

6. **Черепашков А.А.** Обучение автоматизированному проектированию в авторизованном учебном центре технического вуза // САПР и графика. – 2009. – №. 12. – С. 88–91.

7. **Черепашков А.А.** Методика оценки эффективности подготовки целевого персонала машиностроительных САПР // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, №. 4–3.

8. **Черепашков А.А., Букатин А.В.** Обучение автоматизированному проектированию с использованием учебно-научного виртуального предприятия // Вестник СГАУ. – 2012. – №. 5–1(36). – С. 342–345.

9. **Попович В.В.** Методы и средства повышения эффективности подготовки современных высококвалифицированных инженеров // Перспективы развития информационных технологий. – 2014. – №. 18.

10. **Ермаков А.И., Чемпинский Л.А.** Пути повышения эффективности современного инновационного производства // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева (Национального исследовательского университета). – 2009. – №. 3–2.

11. **Father H.** Hooking Windows API-Technics of hooking API functions on Windows // CodeBreakers J. – 2004. – Т. 1, №. 2.

12. **Edwards A., Jaeger T., Zhang X.** Verifying authorization hook placement for the Linux Security Modules framework. – Technical Report 22254, IBM, 2001.

13. **Myer T.** Apple Automator with AppleScript Bible. – John Wiley & Sons, 2009. – Т. 662.

14. **Джеймс Р. Грофф, Пол Н. Вайнберг.** SQL: полное руководство: пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Изд. BHV, 2001. – 816 с.

15. **Минский М.** Фреймы для представления знаний. – М.: Мир, 1979.

16. **Пантелеев Е.Р., Зуйков В.А., Катанев А.Ю.** Программный комплекс регистрации и экспертизы действий пользователя САПР «AddInCAD». Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015662971. – М.: РОСПАТЕНТ, 25.02.2016.

17. **Программный комплекс EnergyCS для проектирования электроэнергетических систем / Н. Ильичев, В. Серов, А. Кулешов, О. Михалева // CADMaster. – 2007. – №1. – С. 42–47.**

References

1. Oxman, R. Theory and design in the first digital age. *Design studies*, 2006, vol. 27, no. 3, pp. 229–265. doi:10.1016/j.destud.2005.11.002
2. Carlson, L.E., Sullivan, J.F. Hands-on engineering: learning by doing in the integrated teaching and learning program. *International Journal of Engineering Education*, 1999, vol. 15, no. 1, pp. 20–31.
3. de Vries, E. Students' construction of external representations in design-based learning situations. *Learning and instruction*, 2006, vol. 16, no. 3, pp. 213–227. doi:10.1016/j.learninstruc.2006.03.006
4. Li, W., Grossman, T., Fitzmaurice, G. GamiCAD: a gamified tutorial system for first time autocad users. *Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology*. ACM, 2012, pp. 103–112.
5. Tselishchev, E.S., Glyaznetsova, A.V., Kudryashov, I.S. *Metodiki effektivnoy avtomatizatsii proektirovaniya tekhnicheskogo obespecheniya ASUTP* [Techniques of effective design automation of SCADA technical support: a study guide]. Ivanovo, 2012. 196 p.
6. Cherepashkov, A.A. Obuchenie avtomatizirovannomu proektirovaniyu v avtorizovannom uchebnom tsentre tekhnicheskogo vuza [Teaching computer-aided design in a computer training centre of a technical university]. *SAPR i grafika*, 2009, no. 12, pp. 88–91.
7. Cherepashkov, A.A. Metodika otsenki effektivnosti podgotovki tselevogo personala mashinostroitel'nykh SAPR [A method of evaluating the efficiency of employer-sponsored training of machine-building CAD workers]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2011, vol. 13, no. 4–3.
8. Cherepashkov, A.A., Bukatin, A.V. Obuchenie avtomatizirovannomu proektirovaniyu s ispol'zovaniem uchebno-nauchnogo virtual'nogo predpriyatiya [Teaching CAD at a virtual academic enterprise]. *Vestnik SGAU*, 2012, no. 5–1(36), pp. 342–345.
9. Popovich, V.V. Metody i sredstva povysheniya effektivnosti podgotovki sovremennykh vysokokvalifitsirovannykh inzhenerov [Methods and tools increasing the efficiency of training of modern highly-qualified engineers]. *Perspektivy razvitiya informatsionnykh tekhnologiy*, 2014, no. 10.
10. Ermakov, A.I., Chempinsky, L.A. Puti povysheniya effektivnosti sovremennogo innovatsionnogo proizvodstva [Ways to improve the efficiency of modern innovative industrial production]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta (Natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta)*, 2009, no. 3–2.
11. Father, H. Hooking Windows API-Technics of hooking API functions on Windows. *CodeBreakers J.*, 2004, vol. 1, no. 2.
12. Edwards, A., Jaeger, T., Zhang, X. Verifying authorization hook placement for the Linux Security Modules framework. *Technical Report 22254*, IBM, 2001.
13. Myer, T. *Apple Automator with AppleScript Bible*. John Wiley & Sons, 2009, vol. 662.
14. Groff, D.R., Vaynberg, P.N. *SQL*. Kiev: Izd. BHV, 2001. 816 p.
15. Minsky, M. *Freymy dlya predstavleniya znaniy* [Frames for knowledge presentation]. Moscow, Mir, 1979.
16. Panteleev, E.R., Zuykov, V.A., Katanaev, A.Yu. *Programmnyy kompleks registratsii i ekspertizy deystviy pol'zovatelya SAPR «AddInCAD»*. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2015662971 [User action registration and expertise software package CAD “AddInCAD”. Computer program state registration certificate No. 2015662971]*. Moscow, ROSPATENT, 2016.
17. Il'ichev, N., Serov, V., Kuleshov, A., Mikhaleva, O. Programmnyy kompleks EnergyCS dlya proektirovaniya elektroenergeticheskikh sistem [Software package EnergyCS for electric power system design]. *CADMaster*, 2007, no. 1, pp. 42–47.

Пантелеев Евгений Рафаилович,

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор кафедры программного обеспечения компьютерных систем,
телефон (4932) 26-98-60,
e-mail: erp@poks.ispu.ru

Зуйков Виталий Аркадьевич,

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант,
телефон (4932) 26-98-60,
e-mail: mysterio@yandex.ru

Катанаев Алексей Юрьевич,

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
магистрант кафедры высокопроизводительных вычислительных систем,
e-mail: simohstudent@gmail.com