

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.031.6

### Интеграция моделей и методов контекстной помощи в САЕ-систему сетей электроснабжения\*

Е.Р. Пантелеев<sup>1</sup>, Н.Б. Ильичев<sup>1</sup>, В.А. Зуйков<sup>1</sup>, А.Н. Вермаховский<sup>1</sup>, К.Г. Шершнева<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
г. Иваново, Российская Федерация

<sup>2</sup>Филиал Группы Компаний CSoft – ООО «СиСофт Иваново», г. Иваново, Российская Федерация  
E-mail: erp@poks.ispu.ru

#### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** Основная проблема методического сопровождения САЕ-систем, автоматизирующих выполнение многовариантных расчетов на компьютерных моделях инженерных объектов, заключается в формировании у пользователей навыков конструирования этих моделей с помощью специализированных редакторов. Исследования показывают, что наиболее эффективной формой методической поддержки является инструктирование пользователей непосредственно в процессе конструирования расчетных моделей. Ранее полученные авторами результаты обеспечивают методическую поддержку путем формирования контекстных методических рекомендаций на основании анализа действий пользователя при разработке модели. Однако это решение, реализованное в формате внешнего приложения, не позволяет учитывать прагматику действий пользователя САЕ-системы. В связи с этим актуальной является разработка интегрированных в САЕ-систему моделей и методов методической поддержки, обеспечивающих повышение информативности контекстной помощи за счет совместного учета семантики и прагматики действий пользователя.

**Материалы и методы:** В качестве объекта исследования рассматривается система инженерного анализа систем электроснабжения СИМЭС. Предмет исследования – процедура графического редактирования расчетной модели. Метод исследования – структурный анализ сценариев действий пользователя при выполнении процедур графического редактирования.

**Результаты:** Предложена модель действий пользователя САЕ-системы СИМЭС, отличающаяся учетом их прагматики, а также основанные на использовании этой модели методы регистрации и воспроизведения сценариев, позволяющие формировать и предъявлять пользователю пошаговые инструкции в формате «содержание действия – цель действия».

**Выводы:** Достоверность полученных результатов подтверждает успешная апробация предложенных моделей и методов в составе программного комплекса СИМЭС. Интеграция моделей и методов методической поддержки в САЕ-среду обеспечивает более эффективное обучение пользователей САЕ-системы за счет предоставления пошаговых контекстных инструкций, увязывающих способ и цель выполнения каждого действия. Благодаря наличию специфицированных API и форматов информационного обмена, предложенное решение может быть интегрировано в любую САЕ-систему, имеющую формат настольного приложения.

**Ключевые слова:** САЕ-система, схема электроснабжения, построение расчетной модели, контекстная методическая поддержка.

\* Исследование выполнено в рамках проекта «Разработка и испытание опытной версии Программного Комплекса «AddInCad» в организациях, занимающихся дистрибуцией ПО (САПР)», поддержанного грантом ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере».

## Integration of models and methods of contextual help in the CAE-system of power supply networks

E.R. Panteleev<sup>1</sup>, N.B. Ilyichev<sup>1</sup>, V.A. Zuiikov<sup>1</sup>, A.N. Vermakhovsky<sup>1</sup>, K.G. Shershnev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation

<sup>2</sup> Branch of CSoft Group of Companies – ООО «CSoft Ivanovo», Ivanovo, Russian Federation

E-mail: erp@poks.ispu.ru

### Abstract

**Background:** The core problem of methodological support of CAE-systems that perform multivariate engineering calculations on computer models is shaping up user skills in editing those models. Immediate instruction of users in the course of model design has been proven to be the most effective form of methodological support. The results of the authors' previous studies implement methodological support by supplying «on the fly» context-dependent recommendations based on the user's activities in the modeling environment. However, implemented as a standalone application, this solution does not take into consideration the pragmatics of a CAE-system user's actions. The present study is aimed at developing CAE-integrated models and methods of methodological support which would provide more informative context-based help by simultaneously considering the semantics and pragmatics of users' actions.

**Materials and methods:** The object of the present study is the SIMES CAE system for engineering analysis of power supply systems. The subject of the study is the process of calculation model graphic editing. The research method is the structural analysis of user actions when performing graphic editing.

**Results:** A model of user actions in the SIMES CAE system has been proposed. Its distinguishing feature is that it takes into account both the semantics and pragmatics of an action. Based on this model, the authors have developed methods for recording and reproducing user actions which provide the user with stepwise tips in the «action content – action goal» template.

**Conclusion:** The reliability of the obtained results has been confirmed by successful approbation of the proposed models and the methods within the SIMES program complex. Integration of methodological support models and methods into the CAE system makes CAE-system user training more effective by providing users with stepwise context-based tips which relate the content of a proposed action to its purpose. Due to the specified API and data interface, the proposed solution can be integrated into any desktop CAE system.

**Key words:** CAE-system, power supply scheme, calculation model design, context-based methodological support.

DOI: 10.17588/2072-2672.2018.4.070-079

**Введение.** Системы инженерного анализа (Computer-aided engineering, или CAE-системы) позволяют исследовать поведение сложных инженерных объектов в условиях реальной эксплуатации, в том числе в нештатных и аварийных режимах, с помощью экспериментов на компьютерных моделях этих объектов. Тем самым обеспечивается существенное сокращение сроков и стоимости автоматизированного проектирования таких объектов и повышение надежности их эксплуатации.

К числу таких инженерных объектов относятся современные системы электроснабжения (СЭС). СЭС – это сложная территориально-распределенная система, состоящая из множества разнотипных инженерных объектов (источники энергии, трансформаторы, линии передач, конечные потребители), в функции которой входит бесперебойная поставка качественной электроэнергии и минимизация последствий аварийных отключений. Гарантированное обеспечение этих функций требует проведения многовариантных расчетов различных режимов их функционирования (режимов максимальных нагрузок или основных планируемых режимов) с учетом всех воздействующих факторов, включая даже такие, как климатические и погодные условия эксплуатации. Однако структурная сложность систем электроснабжения, дополненная многообразием входящих в них инженерных объектов, де-

лает выполнение этих расчетов невозможным без применения современных CAE-систем.

Рынок CAE-систем для инженерного анализа схем электроснабжения представлен достаточно широким спектром продуктов, имеющих сходные функциональные возможности и отличающихся в основном различными подходами к описанию модели электрической сети.

Традиционные программы для расчета режимов СЭС, такие как RastrWin [1] или программа для расчета токов коротких замыканий АРМ СРЗА [2], используют описание сети в виде электрической схемы замещения, в которой элементы сети представлены узлами и ветвями. Более современные продукты – Sincal<sup>1</sup>, СИМЭС [3] – представляют модель в виде расчетной схемы. Она близка по начертанию к стандартной однолинейной электрической схеме и поэтому более доступна для восприятия инженерами, работающими с такой CAE-системой, в то время как проектирование схемы замещения требует от пользователя знаний в области теоретических основ электро-техники. Схема замещения в таких системах анализа строится на основании расчетной схемы автоматически и поэтому прозрачна для пользователя. Кроме того, трудоемкость описания расчетной схемы может оказаться существенно меньше трудоемкости описания схемы

<sup>1</sup> Siemens P. T. I. PSS® SINCAL. – 2017.

замещения, так как для создания схемы замещения необходима достаточно большая работа по расчету параметров схем замещения элементов сети. В ряде случаев один элемент расчетной схемы отображается в несколько ветвей схемы замещения. Так, объект «трехобмоточный трансформатор» моделируется тремя ветвями схемы замещения, а четырехобмоточный – пятью. При составлении схемы замещения должен осуществляться контроль связности сети и соответствие номинальных напряжений узлов с учетом соотношений коэффициентов трансформации. При вводе объектной модели этот контроль осуществляется автоматически и практически исключает возможность возникновения структурных ошибок и ошибок, связанных с определением номинальных напряжений узлов. В результате скорость сборки модели увеличивается в 5–6 раз. С учетом снижения вероятности ошибок пользователя, неизбежных при разработке больших моделей, время получения результатов расчета может сократиться на порядок, так как построение расчетной модели и собственно расчет выполняются автоматически и, по сравнению с проектированием расчетной модели, занимают незначительную часть времени. С другой стороны, уменьшение сложности сборки модели на уровне расчетной схемы компенсируется расширением номенклатуры используемых для ее построения элементов. Если на уровне схемы замещения всего два типа элементов (узлы и ветви), то на уровне

расчетной модели их количество измеряется десятками. Так, в САЕ-системе СИМЭС в настоящее время используется 22 типа объектов, каждый из которых имеет собственное множество параметров, представленное на уровне интерфейса пользователя специфичной для каждого объекта табличной формой. Поэтому, хотя номенклатура элементов расчетной схемы и семантика их параметров интуитивно понятны инженеру, выполняющему расчет, добавление объектов в схему и их параметризация в контексте решаемой задачи, а также выбор рациональной последовательности проектирования схемы замещения требуют соответствующей подготовки пользователей. Опыт обучения пользователей СИМЭС подтверждает этот тезис как для отдельных операций проектирования схемы (табл. 1), так и для стратегии их рационального применения в целом.

Приведенные в табл. 1 формулировки типичных проблем позволяют сделать вывод, что их основными источниками являются либо неумение проектировщика применить общие принципы проектирования (связность схемы, проектирование «от источника») к частной ситуации (пп. 1–4), либо наличие нестандартных приемов использования документированных возможностей редактора схем, которые обнаруживаются только по мере накопления опыта эксплуатации продукта (пп. 5–6). И в том, и в другом случае проблема может быть решена демонстрацией «эталонного» сценария действий.

Таблица 1. Типовые проблемы проектирования расчетной схемы

№ п/п	Наименование операции проектирования	Типичная проблема выполнения операции	Рекомендация эксперта
1	Добавить узел	При выделенной ветви отсутствует возможность ввести узел	При добавлении узла следует сбросить все выделения объектов
2	Добавить ветвь (любой объект)	Отсутствуют выделенные узлы или выделен не один узел	Для добавления ветви следует обязательно выделить узел начала ветви
3	Добавить ветвь двухобмоточного трансформатора	Ошибка коэффициента трансформации	Узел начала всегда должен соответствовать высшему напряжению трансформатора. Трансформатор на схеме рисуется от высокого (ВН) к низкому (НН) напряжению
4	Добавить ветвь воздушной (ВЛ) или кабельной (КЛ) линии	При вводе параметров ВЛ не рассчитываются параметры схемы замещения, так как не определено номинальное напряжение	ВЛ или КЛ следует рисовать от узла с уже введенным напряжением. Тогда напряжение второго, возможно нового узла ветви, определится автоматически. До ввода данных ветви нужно убедиться, что напряжение узла начала определено
5	Применить кабель более высокого напряжения, чем предусмотрено в сети, при вводе КЛ	Программа выводит только кабели нужного напряжения (рис. 1)	Сделать напряжение узла начала нулевым (неопределенным). Тогда при выборе кабелей программа покажет кабели всех классов напряжения. После выбора восстановить напряжение узла
6	Изменить класс напряжения для обмотки ВН трансформатора (выбрать трансформатор с более высоким напряжением обмотки ВН)	Программа будет показывать в справочнике только трансформаторы с заданным напряжением обмотки ВН	Сделать напряжение обмотки ВН неопределенным. Тогда при выборе трансформаторов программа покажет трансформаторы всех классов напряжения. При выборе нужного трансформатора класс напряжения узла автоматически изменится на правильный



Справочник "Energy.SPR", Unom = 6 кВ

Кабели

Выбор К внутреннему справочнику Закрыть

№	Тип кабеля	Мат. изоляц	Мат. жилы	Мат. Обол	Unom кВ	Нж	Fф кв.мм	Fн кв.мм	Tд °C	Tм °C	IdTr А
1	ААБнЛГ-3х95		Алюминий	Алюминий	6	0	95	0	65	200	225
2	A2XSEH-3х95	Б/М	Алюминий	Алюминий	6	3	95	0	90	250	225
3	A2XSEH-3х120	Б/М	Алюминий	Алюминий	6	3	120	0	90	250	260
4	A2XSEH-3х185	Б/М	Алюминий	Алюминий	6	3	185	0	90	250	340
5	ААБлУ-3х120		Алюминий	Алюминий	6	3	120	0	65	200	260
6	АСБ-3х185		Алюминий	Свинец	6	3	185	0	80	160	340
7	ВВГнг-185	Резина	Медь	ПВХ	6	4	185	185	70	200	200
8	ПвВнг-300	Б/М	Медь	П/Э	6	1	300	0	90	250	295
9	ПвВнг-400	Б/М	Медь	П/Э	6	1	400	0	90	250	340
10	ПвВнг-500	Б/М	Медь	П/Э	6	1	500	0	90	250	340
11	ПвВнг-630	Б/М	Медь	П/Э	6	1	630	0	90	250	340
12	АПвВнг-630	Б/М	Алюминий	П/Э	6	1	630	0	90	250	0
13	СБ-70		Медь	Свинец	6	3	70	0	65	200	80
14	СБ-95		Медь	Свинец	6	3	95	0	80	200	105
15	СБ-120		Медь	Свинец	6	3	120	0	80	200	135
16	СБ-150		Медь	Свинец	6	3	150	0	80	200	160
17	СБ-185		Медь	Свинец	6	3	185	0	80	200	200
18	СБГ 3х95		Медь	Свинец	6	3	95	0	80	0	105
19	СБГ 3х240		Медь	Свинец	6	3	240	0	80	0	245

Рис. 1. Проблема: возможен только выбор кабелей, рассчитанных на напряжение сети

Что касается стратегии рационального проектирования расчетной схемы в САЕ-системе СИМЭС, то она сводится к минимизации объема ввода исходных данных за счет выбора такой последовательности операций, которая позволяет использовать формируемые системой зависимости между параметрами отдельных элементов. Так, например, если начать проектирование схемы от источника питания и ввести его напряжение, напряжение смежных источнику узлов, связанных с элементами «линия», определится автоматически. После этого можно приступить к определению параметров линии. Аналогично, если добавить в схему трансформатор, номинальные напряжения смежных ему узлов автоматически определятся по параметрам трансформатора.

Необходимость методического сопровождения САЕ-систем, таким образом, вполне очевидна как для поставщиков, так и для потребителей этой продукции [4–8]. Поэтому поставщики САЕ-систем пытаются решить эту проблему всеми доступными способами, а потребители – выбрать наиболее эффективный формат обучения. Традиционно методическое сопровождение реализуется с использованием технической документации, очных курсов и вебинаров с демонстрацией примеров выполнения проектных операций в реальном времени или в формате видеороликов, а также дистан-

ционных консультаций для решения частных проблем, возникающих при решении конкретной задачи. Все эти форматы не свободны от недостатков. Так, техническая документация структурирована в аспекте общей функциональности САЕ-системы, а не особенностей ее применения для решения конкретных задач. Очные и заочные курсы, помимо своей высокой стоимости, в большей или меньшей степени ориентированы на массовую аудиторию, в результате чего игнорируются индивидуальные проблемы пользователей. Дистанционные консультации не всегда доступны из-за того, что зачастую поставщик САЕ-системы не располагает достаточным штатом экспертов.

Наконец, в любом из этих форматов пользователь присутствует в качестве стороннего наблюдателя, для которого возможность анализа связи между процессом выполнения операции и полученным в среде САЕ-системы результатом обусловлена необходимостью самостоятельно воспроизвести на компьютере этот процесс по его текстовому описанию или видеозаписи на экране. Этот процесс сопряжен с непроизводительными затратами времени и сопутствующими ошибками в трактовке неоднозначных описаний.

Решение этой проблемы возможно путем регистрации и последующего воспроизведения действий пользователя непосредственно в САЕ-системе как для демонстрации

эталонных приемов решения задач, так и для анализа проблемных ситуаций. Такой подход был реализован в [9]. Он основан на использовании технологии перехвата сообщений операционной системы, адресованных оконной функции приложения. Его главное преимущество состоит в том, что система регистрации и воспроизведения (CPB) позволяет регистрировать все действия пользователя X с элементами интерфейса этого приложения, сохраняя журнал этих действий, а затем воспроизводить их, эмулируя записанные события ОС. Пользователь Y, таким образом, получает возможность наблюдать в пошаговом (и, если необходимо, интерактивном) режиме за действиями пользователя X, а так как эти действия воспроизводятся в среде приложения, он также имеет возможность анализировать связь между процессом и полученным результатом. Если X – эксперт, он может таким образом продемонстрировать Y эталонные приемы решения задач с помощью приложения. Пользователь Y в роли эксперта может оценить, прокомментировать и при необходимости скорректировать действия X. Кроме того, поскольку CPB не является частью САЕ-системы, ее применение не требует внесения каких-либо изменений в само приложение, что очень важно для программных продуктов, уже выведенных на рынок. Однако последнее преимущество является одновременно и недостатком предложенной конфигурации. Дело в том, что, если CPB не является частью приложения, она способна регистрировать только синтаксис (способ инициализации с помощью событий нажатия клавиш и/или кнопок мыши) и семантику (элемент интерфейса, которому адресовано событие) действий пользователя, т. е. позволяет дать ответ на вопрос, как пользователь выполняет то или иное действие. Между тем, чтобы показать пользователю способы решения задач с помощью САЕ-системы, необходимо знать, зачем (с какой целью) выполняется это действие, какую операцию САЕ-системы оно иницирует. К сожалению, прагматика действия (способ его интерпретации приложением САЕ) в рамках описанного выше подхода недоступна для регистрации, так как перехватываемые сообщения ОС не содержат такой информации. Цель выполнения действия может быть получена только от самой САЕ-системы. Следовательно, для вновь выводимых на рынок продуктов приобретает актуальность задача интеграции CPB в целевую САЕ-систему. Целью обсуждаемого подхода является повышение эффективности методической поддержки пользователей САЕ-систем путем разработки моделей, методов и инструментов интеграции CPB в разрабатываемую САЕ-систему с учетом необходимости регистрации всех упомянутых аспектов

действий пользователя: синтаксиса, семантики и прагматики. Обсуждение конкретных деталей реализации этого подхода проводится на примере САЕ-системы СИМЭС.

**Материалы и методы.** В основе предлагаемого подхода лежит информационная модель действия, выполняемого пользователем САЕ-системы с помощью элементов ее интерфейса. В отличие от модели, описанной в [9], данная модель действия содержит не только информацию о событии, инициировавшем действие, но и о том, какая операция в САЕ-системе была активирована этим действием:

$$a = (e, p, o, m), \quad (1)$$

где  $e$  – тип события;  $p$  – вектор параметров события;  $o$  – код операции, активированной событием;  $m$  – режим воспроизведения действия (непрерывный или интерактивный).

Словарь типов событий

$$E = \{e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_n\} = E_s \cup E_c; E_s \cap E_c = \emptyset,$$

наряду с событиями  $E_s$ , стандартными для всех оконных приложений (например, нажатие на кнопку, выбор пункта меню, ввод в текстовое поле), содержит также события  $E_c$ , специфические для конкретной САЕ-системы. Для СИМЭС специфический тип события – абстрактное множество событий редактирования расчетной схемы, элементами которого являются коды активированных операций. На множестве типов событий  $E$  определено отображение  $f: E_c \rightarrow N_E$ , где  $N_E$  – множество имен событий.

Параметры события, в зависимости от его типа, могут включать номер пункта меню, код вводимого символа, координаты мыши в клиентской области и коды действий с ее кнопками. Для некоторых типов событий, например для события «нажатие кнопки», список параметров может быть пустым.

Коды активированных событием операций

$$O = \{o_1, o_2, \dots, o_j, \dots, o_k\} = O_s \cup O_c; O_s \cap O_c = \emptyset$$

определяют прагматику действия. Для событий, связанных со стандартными элементами интерфейса, это множество идентификаторов операций  $O_s$ . Идентификатор может совпадать для разных событий (нажатие кнопки, горячих клавиш, выбор пункта контекстного меню), инициирующих одно и то же действие. Для нестандартных событий редактирования расчетной схемы в СИМЭС (добавление узла, ветви, редактирование отображаемых параметров, раскраска и т.п.) существует внутренний словарь операций  $O_c$ . На множестве кодов операций  $O$  определено отображение  $g: O_c \rightarrow N_o$ , где  $N_o$  – множество имен операций.

Режим воспроизведения  $m \in \{\text{«непрерывный»}, \text{«интерактивный»}\}$  – редактируемый атрибут действия, формируемый в процессе

регистрации сценария. По умолчанию он устанавливается в значение «непрерывный», что освобождает пользователя от участия в выполнении этого действия при воспроизведении. Это целесообразно, если ошибка «ручного» выполнения этого действия может нарушить ход дальнейшего выполнения сценария, например, если действие заключается в точном позиционировании курсора мыши на схеме. В остальных случаях вовлечение пользователя в процесс выполнения проектной операции оправдано повышением результативности обучения.

Описание действия генерируется автоматически при помощи текстового шаблона, слотами которого являются переменные «имя события»  $n_e = f(e)$  и «имя операции»  $n_o = g(o)$  для действия  $a$  (1). Выбор варианта заполнения постоянной части текстового шаблона определяется заданным в сценарии режимом его воспроизведения  $m$ . В режиме непрерывного воспроизведения используется шаблон комментария «Операция  $\&g(o)$  активируется посредством  $\&f(e)$ ». В режиме интерактивного воспроизведения используется шаблон инструкции «Чтобы  $\&g(o)$ ,  $\&f(e)$ ». При воспроизведении действия слоты одного из шаблонов заполняются соответствующими значениями переменных и демонстрируются в консультативном окне СРВ. Например, одна из пошаговых рекомендаций по решению проблемы, показанной на рис. 1, выглядит следующим образом: *Чтобы сделать напряжение выделенного узла нулевым, введите 0 в ячейку (5) Упото таблицы «Узлы (исходные данные)»*. Курсивом выделены значения подстановок соответствующих переменных.

Информационная модель действия является атомом сценария  $s$  выполнения проектной операции, который на логическом уровне представляет собой линейную последовательность действий. Однако на физическом уровне, определяющем структурирование действий для их воспроизведения интегрированной СРВ, сценарий  $s$  представляет собой иерархическую структуру – дерево, внутренние вершины которого соответствуют блокам действий, выполняемых внутри модальных окон, а листья – элементарным действиям. Синтаксис сценария  $s$  в расширенной форме Бэкуса описывается следующими правилами:

$$s = a \{ \# (a|b) \}; b = ( \text{“} s \text{”} ), a = ( e \ p \ o \ m ),$$

где  $b$  – тело модального блока;  $\#$  – символ-разделитель;  $( \text{“} \text{ ”} )$  – открывающая и закрывающая модальные скобки соответственно.

Это отличие физической структуры потока действий от их логического представления,

воспринимаемого проектировщиком, обусловлено спецификой интеграционного решения. Дело в том, что и само приложение САЕ, и все открываемые внутри него модальные окна имеют один и тот же идентификатор процесса. Поэтому при воспроизведении записанного для САЕ-системы сценария с помощью СРВ, являющейся самостоятельным процессом со своим идентификатором [7], смена модальности в приложении САЕ не приводит к потере контроля над процессом. При воспроизведении записанного сценария «изнутри» САЕ-системы процесс воспроизведения, который в данном случае имеет тот же идентификатор, что и сама САЕ-система, при смене модальности «встает на паузу» и теряет способность эмулировать события, происходящие внутри модального окна.

Предлагаемое решение этой проблемы заключается в том, что в режиме регистрации в структуре потока действий пользователя выделяются модальные блоки, которые с учетом возможности их вложения образуют на физическом уровне представления сценария иерархию. В режиме воспроизведения СРВ отслеживает смену модальности и для выделенного модального блока строит дерево, родительским вершинам которого соответствуют дескрипторы модальных окон, а дочерним – элементарные действия или модальные блоки внутри этих окон. Дескриптор модального окна содержит информацию о размещении элементов интерфейса внутри модального окна. Эта информация совместно с информацией о параметрах действий из дочерних вершин используется для вычисления координат событий от мыши и клавиатуры при преобразовании элементарных действий сценария в соответствующие им цепочки событий ОС. Например, действие «выбор ячейки» в таблице внутри модального окна структуры порождает цепочку событий «позиционировать мышью» – «нажать левую кнопку» – «отпустить левую кнопку». После того, как для всех листьев дерева выполнено преобразование элементарных действий в цепочки событий ОС, полная последовательность событий для данного блока модальности формируется путем конкатенации этих цепочек, построенной в процессе левостороннего обхода листьев дерева. Далее СРВ запускает внешний процесс, который использует эту последовательность для эмуляции потока событий ОС. Формальное описание приведенного выше алгоритма иллюстрируют диаграммы деятельности UML, приведенные на рис. 2.

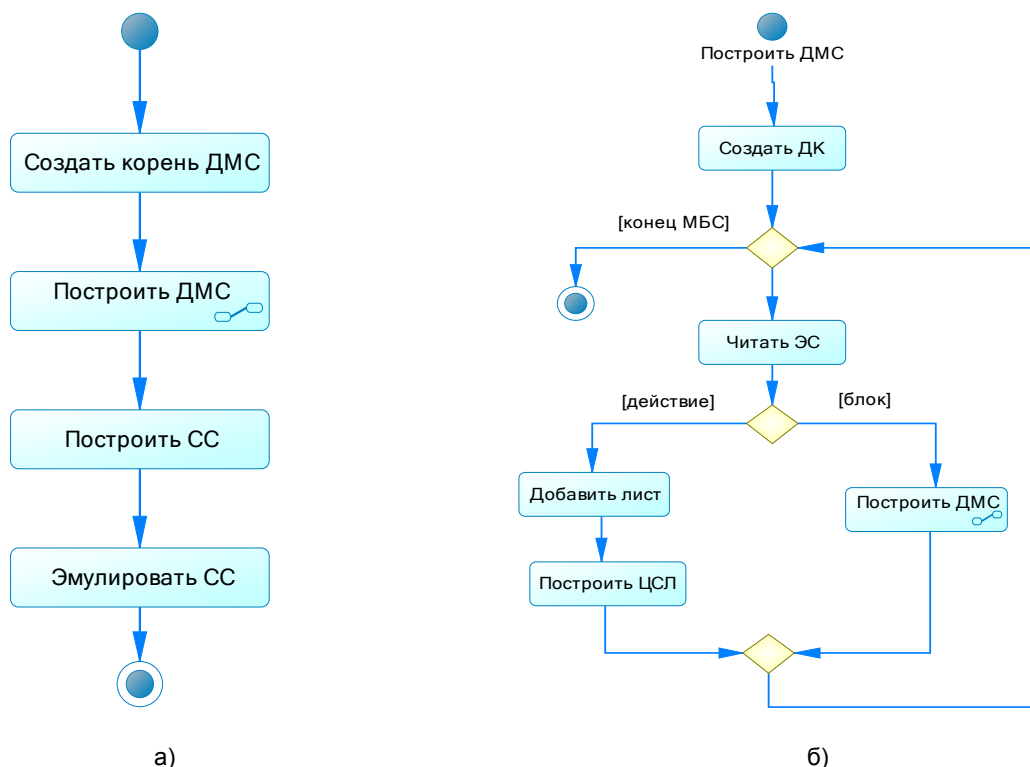


Рис. 2. Алгоритм воспроизведения модального блока сценария: а – воспроизведение модального блока сценария; б – построение дерева модальных состояний

**Результаты.** На базе предложенных моделей и методов были разработаны:

- комплекс программных средства регистрации и воспроизведения сценариев методической поддержки, имеющий модульную архитектуру и обеспечивающий за счет этого возможность встраивания модуля СРВ в любое приложение настольного формата. Интерфейс модуля СРВ, встроенного в САЕ-систему СИМЭС, показан на рис. 3,а;
- компоненты информационного сопровождения СРВ в составе САЕ-системы СИМЭС:
  - словари действий пользователя и элементарных операций СИМЭС;
  - банк эталонных сценариев редактирования графической модели схемы электропитания.

При формировании банка эталонных сценариев, который охватывает несколько десятков проблемных ситуаций, мы руководствовались приоритетами, определяемыми частотой возникновения соответствующей проблемы у пользователей (рис. 3).

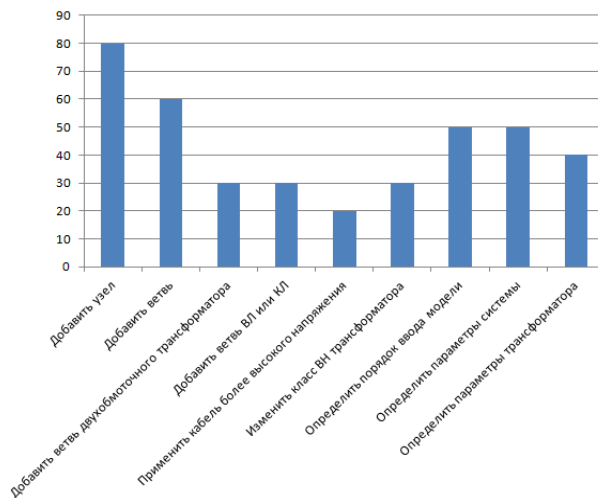


Рис. 3. Частота проблемных ситуаций, %

Для иллюстрации предоставляемого СРВ уровня методической поддержки рассмотрим один из эталонных сценариев – решение проблемы выбора номинального напряжения КЛ (табл. 1, п. 5). Суть проблемы состоит в том, что по умолчанию возможен только выбор типа кабеля, номинальное напряжение которого совпадает с напряжением участка схемы, содержащего данный кабель (рис. 1). Чтобы выбрать кабель с повышенным номинальным напряжением, необходимо выполнить следующую цепочку действий<sup>2</sup> :

<sup>2</sup> Приведена с незначительными сокращениями

1. Выбрать концевой узел участка кабельной линии.
2. В таблице свойств узла установить нулевое напряжение.
3. Выделить ветвь, соответствующую участку кабельной линии.
4. Выбрать раскрывающийся список «Тип» в таблице свойств объекта «Кабельная линия».
5. Выбрать пункт списка «Внешний справочник».
6. Выбрать нужный тип кабеля из внешнего справочника.
7. Снять выделение ветви.
8. Выделить концевой узел участка кабельной линии.
9. В таблице свойств узла установить первоначальное значение напряжения.

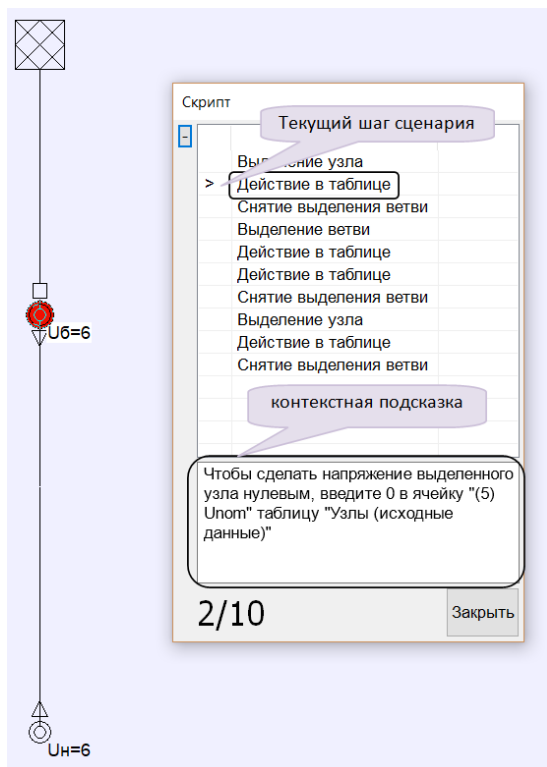
Сложность выполнения этой операции редактирования заключается не столько в достаточно большом количестве необходимых действий, сколько в разнообразии таблиц свойств объектов, над которыми эти действия

выполняются, и даже наличие подробных инструкций не гарантирует защиты пользователя от ошибки. Эту проблему можно решить только погружением инструкций в среду их исполнения, где они трактуются однозначно, с помощью встроенного модуля СРВ. Воспроизведение существенных в содержательном смысле инструкций (например, заполнение ячеек в таблицах) осуществляется в интерактивном режиме, в то время как инструкции, не несущие особой смысловой нагрузки (такие, как позиционирование курсора мыши), воспроизводятся в непрерывном режиме. На рис. 4,а, показан интерфейс пользователя модуля СРВ, содержащий инструменты загрузки, сохранения, записи и воспроизведения сценария. На рис. 4,б показано окно модуля СРВ, содержащее список шагов эталонного сценария и комментариев к текущему шагу, который выполняется в интерактивном режиме. На рис. 4,в, показана таблица свойств узла с позиционированной ячейкой для ввода данных.

СИМЭС 5.0.0.2106 (Тестовая версия)

Файл Правка Данные Схема Карта Суперобъекты Режим Фидеры Замеры Сервис Справочник Окна ?

а)



б)

(0) Номер узла	(1) 1
(1)	
(2) Наименование	
(3) Район	
(4) СХН	БУ
(5) Uном, кВ	0
(6) P нагр., МВт	
(7) Q нагр., Мвар	
(8) P ген., МВт	
(9) Q ген., Мвар	
(10)  U , кВ	
(11) Q min, Мвар	
(12) Q max, Мвар	
(13) Q max/min как	
(14) График	
(15) Код	

в)

Рис. 4. Пошаговое инструктирование пользователя в рамках сценария «Выбор кабеля на повышенное напряжение»: а – интерфейс модуля СРВ, встроенного в САЕ-систему СИМЭС; б – пошаговые инструкции СРВ; в – применение инструкций



**Выводы.** Достоверность результатов применения предложенных моделей и методов подтверждает их успешная апробация в составе программного комплекса СИМЭС. По отзывам пользователей и экспертов, применение предложенных механизмов контекстной помощи обеспечивает повышение эффективности обучения пользователей за счет интеграции проблемного (эталонного) сценария в среду САЕ-системы. Интеграция позволяет исключить непроизводительные затраты времени на перенос сценария в целевую среду, а также обеспечивает более глубокое понимание природы автоматизированных инженерных операций за счет возможностей совместного анализа целей этих операций и способов их достижения. Этот эффект можно косвенно оценить количеством повторных обращений к экспертам, которое в результате внедрения CPB уменьшилось на 25 %.

Инструментальные средства CPB, реализующие описанные выше модели и методы контекстной помощи, могут быть интегрированы в любую САЕ-систему, имеющую формат настольного приложения. CPB имеет модульную структуру и специфицированный программный интерфейс. Он включает методы работы со сценарием (загрузка/сохранение, запись/воспроизведение), методы обработки модальных состояний САЕ-системы и методы управления контекстной помощью (отображение записанных действий пользователя в режиме воспроизведения, синтез контекстных методических рекомендаций). CPB также специфицирует формат словарей событий и операций, специфических для приложения. Интеграция CPB в конкретную САЕ-систему предполагает добавление в ее проект вышеперечисленных модулей, формирование словарей и создание в интерфейсе приложения панели меню, управляющей доступом к интерфейсным операциям<sup>3</sup>.

#### Список литературы

1. **Дайнеко А.И.** Вводный курс в RastrWin / А.В. Василенская, М.А. Костюкович; под ред. А.И. Дайнеко. – М.: Мир, 2014. – 232 с.
2. **Программно-вычислительный** комплекс для расчета токов короткого замыкания и выбора уставок РЗА – ПВК АРУ РЗА / С.А. Абакумов, А.В. Виштитеев, С.Е. Гаязов и др. // Известия НТЦ Единой энергетической системы. – 2016. – № 2. – С. 84–90.
3. **Свидетельство** о государственной регистрации в Реестре программы для ЭВМ № 2016660884. Система информационного моделирования электроэнергетических сетей для расчета установившихся режимов, токов короткого замыкания, потерь электрической энергии, технико-

экономических показателей с отображением результатов на однолинейных схемах и схемах на картах местности (СИМЭС) / Н.Б. Ильичев, А.И. Кулешов, В.А. Серов, К.Г. Шершнева, А.Н. Ильичев, Е.Н. Елисеева. – М.: РОСПАТЕНТ, 2016.

4. **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
5. **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.
6. **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. – С. 103–112.
7. **CAD usage in an architectural office: from observations to active assistance** / S.K. Bhavnani et al. // *Automation in Construction*. – 1996. – Т. 5. – №. 3. – С. 243–255.
8. **Owl: A recommender system for organization-wide learning** / F. Linton et al. // *Educational Technology & Society*. – 2000. – Т. 3, №. 1. – С. 62–76.
9. **Пантелеев Е.Р., Зуйков В.А., Катанев А.Ю.** Модели и методы коммуникации пользователя и эксперта САПР в режиме обучения через деятельность // *Вестник ИГЭУ*. – 2016. – Вып. 5. – С. 60–69. doi: 10.17588/2072-2672.2016.5.060-069.

#### References

1. Dayneko, A.I. *Vvodnyy kurs v RastrWin* [An introductory course into RastrWin]. Moscow: Mir, 2014. 232 p.
2. Abakumov, S.A., Vishtibeev, A.V., Gayazov, S.E., Maryushko, E.A., Savvin, D.N. *Programmno-vychislitel'nyy kompleks dlya rascheta tokov korotkogo замыкания i vybora ustavok RZA – PVK ARU RZA* [Computational software suite for calculation of fault currents and selection of relay protection and automation settings – PVK ARU RZA]. *Izvestiya NTTs Edinoy energeticheskoy sistemy*, 2016, no. 2, pp. 84–90.
3. Il'ichev, H.B., Kuleshov, A.I., Serov, V.A., Shershnev, K.G., Il'ichev, A.N., Eliceeva, E.N. *Sistema informatsionnogo modelirovaniya elektroenergeticheskikh setey dlya rascheta ustanovivshikhsya rezhimov, tokov korotkogo замыкания, poter' elektricheskoy energii, tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley s otobrazheniem rezul'tatov na odnolineynykh skhemakh i skhemakh na kartakh mestnosti (SIMES)* [System of information modeling of electric power networks for calculating steady-state conditions, fault currents, electric energy losses and performance indicators displaying the results on single-line diagrams and schemes on area maps (SIMES)]. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii v Reestre programm dlya EVM № 2016660884*. Moscow: ROSPATENT, 2016.
4. 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
5. 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.
6. Li, W., Grossman, T., Fitzmaurice, G. GamiCAD: a gamified tutorial system for first time autocad users. *Proceedings of the 25th annual ACM symposium*

<sup>3</sup> загрузка/сохранение, запись/воспроизведение сценария, редактирование шаблонов контекстных методических рекомендаций

on User interface software and technology. ACM, 2012, pp. 103–112.

7. Bhavnani, S.K. et al. CAD usage in an architectural office: from observations to active assistance. *Automation in Construction*, 1996, vol. 5, no. 3, pp. 243–255.

8. Linton, F. et al. Owl: A recommender system for organization-wide learning. *Educational Technology & Society*, 2000, vol. 3, no. 1, pp. 62–76.

9. Panteleev E.R., Zuykov V.A., Katanaev A.Yu. Modeli i metody kommunikatsii pol'zovatelya i eksperta SAPR v rezhime obucheniya cherez deyatelnost' [Models and methods of CAD user and CAD expert communication in «learning-by-doing» mode]. *Vestnik IGEU*, 2016, issue 5, pp. 60–69. doi: 10.17588/2072-2672.2016.5.060-069.

*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

*Panteleev Evgeny Rafailovich,*

Ivanovo State Power Engineering University,  
Doctor of Engineering Sciences (Post-doctoral Degree), Professor of the Computer Software Department,  
tel. (4932) 26-98-60,  
e-mail: erp@poks.ispu.ru

*Ильичев Николай Борисович,*

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, доцент кафедры электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования,  
e-mail: ilichevnb@rambler.ru

*Ilyichev Nikolai Borisovich,*

Ivanovo State Power Engineering University,  
Candidate of Engineering Sciences (PhD), Associate Professor of the Electric Stations, Substations and Electric Equipment Diagnostics Department,  
e-mail: ilichevnb@rambler.ru

*Зуйков Виталий Аркадьевич,*

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
аспирант кафедры программного обеспечения компьютерных систем,  
e-mail: mysterio@yandex.ru

*Zuikov Vitaly Arkadyevich,*

Ivanovo State Power Engineering University,  
Post-graduate Student of the Computer Software Department,  
e-mail: mysterio@yandex.ru

*Вермаховский Александр Николаевич,*

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
доцент кафедры электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования,  
e-mail: avermahovsky@mail.ru,

*Vermakhovsky Aleksandr Nikolayevich,*

Ivanovo State Power Engineering University,  
Associate Professor of the Electric Stations, Substations and Electric Equipment Diagnostics Department,  
e-mail: avermahovsky@mail.ru

*Шершнева Кирилл Георгиевич,*

Филиал Группы Компаний CSoft – ООО «СиСофт Иваново»,  
ведущий программист,  
телефон (4932) 33-40-91.

*Shershnev Kirill Georgievich,*

Branch of the CSoft Group of Companies – ООО «CSoft Ivanovo»,  
Lead programmer,  
tel. (4932) 33-40-91.