

## ИНТЕГРАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ТРЕНАЖЕРОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

В.Ф. КОРОТКОВ, А.А. ФОМИЧЕВ, кандидаты техн. наук, В.В. НИКОЛОГОРСКИЙ, А.А. САВИНОВ, инженеры

**Рассматриваются обобщенные структурные схемы и задачи, выполняемые автоматизированными системами управления и тренажерами в электроэнергетике. Даются обоснование и возможный способ их интеграции.**

*Ключевые слова:* тренажер, модель деятельности, модель базы знаний, модель объекта управления.

## INTEGRATION OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS AND TRAINING SIMULATORS IN ELECTROENERGETICS

V.F. KOROTKOV, Ph.D., A.A. FOMICHEOV, Ph.D., V.V. NIKOLOGORSKIY, engineer, A.A. SAVINOV, engineer

**This paper is devoted to the generalized structural schemes and problems, which are carried out with automated control systems and training simulators in electroenergetics. The authors give the ground and a possible way of their integration.**

*Key words:* training simulator, activity model, knowledge base model, control object model.

В настоящее время в электроэнергетике все большее внимание уделяется развитию и модернизации парка устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) с широким применением современных микропроцессорных комплексов. Одновременно с заменой устройств РЗА на энергообъектах внедряются автоматизированные системы управления (рис. 1) [1].

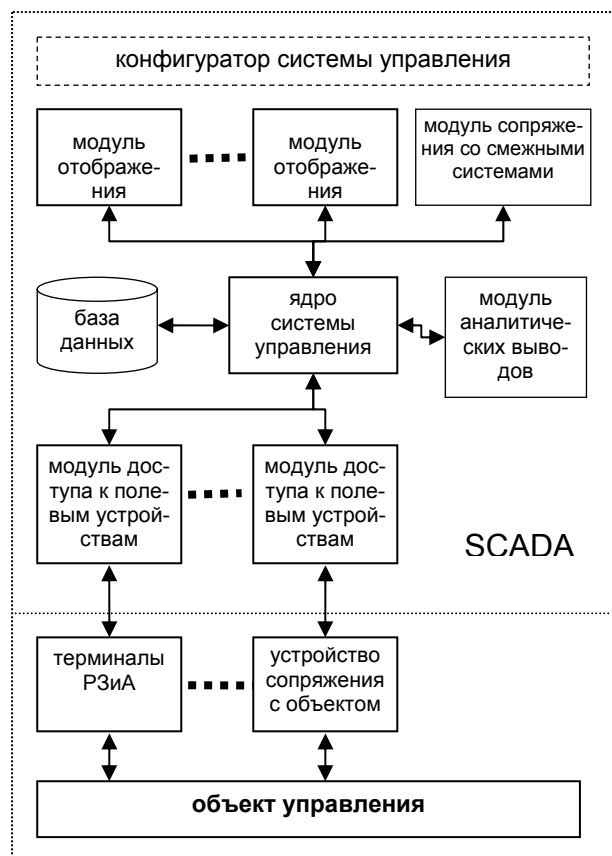


Рис. 1. Обобщенная структурная схема автоматизированной системы управления

Основой автоматизированных систем управления служат так называемые системы SCADA (SCADA – сокращение английского термина *Supervisory Control And Data Acquisition* – диспетчерское управление и

сбор данных). Подобные системы интегрируют в себе всю информацию об управляемом объекте – от оперативного положения коммутационного оборудования до уставок терминалов защит и автоматики.

Основными компонентами современных SCADA-систем являются ядро системы, модули доступа к полевым устройствам и модуль отображения [1]. Все остальные компоненты являются необязательными, но именно они позволяют повысить эффективность системы управления.

Компоненты автоматизированной системы управления выполняют следующие основные функции:

- ядро системы управления – сбор и первичную обработку информации, связь элементов автоматизированной системы управления;
- модуль доступа к полевым устройствам – связь с полевыми устройствами (например, терминалами защит и автоматики, устройствами сопряжения с объектом, устройствами осциллографирования и др.);
- модуль отображения – предоставление графического интерфейса для персонала (мнемосхемы, графики, бланки и др.);
- конфигуратор системы управления – конструирование структуры системы управления под конкретный объект (задание мнемосхем, связей с полевыми устройствами, описание базы данных и др.);
- база данных – архивирование событий, режимных параметров и т.п.;
- модуль сопряжения со смежными системами – связь с системами телемеханики, системами управления технологическим процессом и др.;
- модуль аналитических выводов – обработку информации об объекте управления, формирование рекомендаций и управляющих воздействий.

Модуль аналитических выводов существенно расширяет интеллектуальные возможности системы управления. Его наличие в предельном случае может перевести систему управления в автоматический режим. В большинстве современных SCADA-систем реализация данного модуля сводится к выполнению алгоритмов технологических блокировок. Имеются системы управления, реализующие функции советчика при оперативных переключениях.

Современные автоматизированные системы управления кардинально меняют содержание и форму деятельности персонала в процессе управления.

Подготовка персонала для работы с автоматизированными системами управления требует новых методик, учебного материала и средств обучения, в том числе тренажеров (рис. 2) [2, 3, 4].

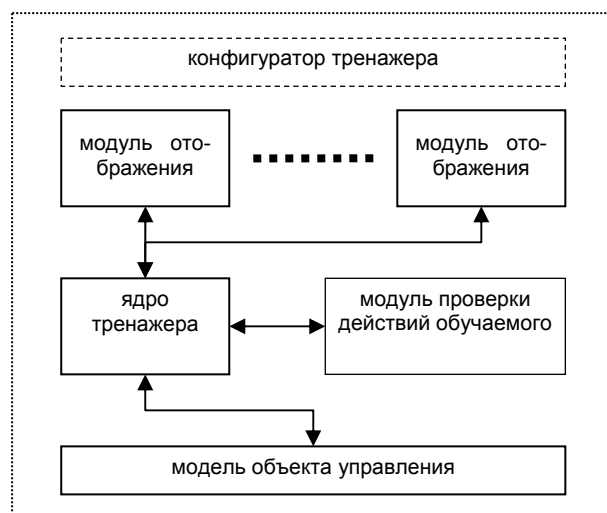


Рис. 2. Обобщенная структурная схема тренажера

Компоненты тренажера выполняют следующие основные функции:

- ядро тренажера – связь модулей тренажера, исполнение сценария тренировки;
- модуль отображения – предоставление графического интерфейса для обучаемых;
- конфигуратор тренажера (в автоматизированных системах создания тренажеров) – задание мнемосхем, создание сценария и др.;
- модель объекта управления – предоставление информации о состоянии объекта управления;
- модуль проверки действий обучаемого – анализ и оценку принимаемых решений.

Структура SCADA-систем создает предпосылки для включения в них функций автоматизированного проектирования тренажеров. Это дает следующие преимущества:

- сокращение затрат на конфигурирование;
- соответствие тренажеров реальным условиям работы персонала;
- использование смежных модулей из тренажеров в системе управления для повышения ее эффективности.

**Модуль отображения.** В системах управления и тренажерах модуль отображения выполняет одинаковые функции.

В современных автоматизированных системах управления модуль отображения дает графическое представление первичной схемы объекта управления (мнемосхемы). Управление осуществляется при помощи контекстного меню, что уменьшает вероятность случайных операций, т.к. внимание персонала акцентируется на выполняемой операции, а не на механизме ее выполнения (манипуляциях с клавишами управления, рубильниками и др.). С учетом этого представляется целесообразным в современных тренажерах использовать модуль отображения, применяемого в автоматизированных системах управления, что предоставляет обучаемому всю необходимую информацию в удобном виде и уменьшает вероятность случайных и необдуманных действий.

**Модель деятельности.** Модуль аналитических выводов в автоматизированных системах управления и модуль проверки действий обучаемого в тренажерах реализуют схожие функции. В более общем случае эту модель принято называть «моделью деятельности» [16].

Модуль аналитических выводов должен выполнять следующие функции:

- анализировать текущую ситуацию;
- определять отклонения от заданного режима;
- находить оптимальный путь перевода объекта управления из текущего режима в заданный.

Модуль проверки действий обучаемого должен «уметь»:

- анализировать текущую ситуацию;
- находить все возможные (в частности, оптимальные) пути перевода модели объекта управления из текущего режима в заданный;
- определять правильность и оптимальность производимых действий обучаемого.

К модели деятельности в тренажерах и автоматизированных системах управления в общем случае предъявляются различные требования.

В автоматизированных системах управления:

- адекватность принимаемых решений оперативной ситуации и нормативным документам;
- нахождение решения во всех возможных режимах работы объекта управления;
- оперативность принимаемых решений.

В тренажерах:

- соответствие принимаемых решений сценарию тренировки;
- гарантированное нахождение решения в объеме сценария тренировки;
- оперативность принимаемых решений.

К модели деятельности в тренажерах предъявляются менее жесткие требования (основное отличие – в требовании адекватности принимаемых решений). Реализация адекватной модели деятельности для автоматизированных систем управления является затруднительной задачей. Поэтому на начальном этапе оправданным является использование в автоматизированной системе управления модели деятельности в режиме советчика, которая предлагает оперативному персоналу план действий и контролирует выполняемые действия (с использованием модели объекта управления). По мере накопления опыта использования модели деятельности в автоматизированных системах управления и подтверждения ее адекватности возможен перевод системы в режим автоматического управления.

Модель деятельности должна иметь унифицированный программный интерфейс для использования ее как в автоматизированной системе управления, так и в тренажере. С этой целью можно использовать различные открытые и широко распространенные протоколы связи:

- полевые протоколы связи (MODBUS, IEC 608505101, TM 512 и др.);
- программные протоколы (OPC, DAIS).

Наиболее целесообразным является использование протокола OPC (OLE Process Control), ставшего де-факто внутренним стандартом для большинства современных SCADA-систем [1]. Широкая поддержка данного протокола SCADA-системами позволит легко использовать интегрированную модель деятельности в автоматизированных системах управления.

Модель деятельности генерирует некоторую детерминированную последовательность действий

для достижения поставленной цели [4, 6, 7, 8]. Содержание этой последовательности действий должно быть описано в виде совокупности операций управления [9].

Задачу модели деятельности можно свести к задаче поиска оптимального решения (в более общем случае – удовлетворительного решения) [10], которая формулируется следующим образом.

Пусть заданы множества:  $X$  – исходных данных (входов, альтернатив, входных воздействий или параметров и т.п.);  $Y$  – результатов (выходов, следствий, выходных параметров и т.п.);  $V$  – критериев решения. Множество  $V$  является упорядоченным отношением.

Заданы также выходная функция

$$P: X \rightarrow Y \quad (1)$$

и оценочная функция

$$G: X \times Y \rightarrow V. \quad (2)$$

Тогда задача поиска оптимального решения определяется набором  $\langle P, G, \tilde{X} \rangle$  и интерпретируется как поиск такого  $\tilde{y} \in \tilde{Y}$ , при котором выполняется условие оптимальности

$$(\forall y \in \tilde{Y}) (g(\tilde{x}) \leq g(x)). \quad (3)$$

Множество  $Y$  при этом называется множеством всех решений, множество  $\tilde{Y} \in Y$  – множеством допустимых решений, а функция

$$g(x) = G(x, P(x)) \quad (4)$$

– целевой функцией.

Известно, что методы поиска решения можно классифицировать на дедуктивные (строгие методы) и индуктивные (эвристические методы) [10, 11]. Дедуктивные методы характеризуются точностью, четкостью и определенностью. В основе методов лежит поиск или вывод искомого целевого заключения по известным исходным посылкам и закономерностям. Индуктивным методам поиска решений присущи элементы неопределенности, нечеткости и неточности. Суть методов – установление закономерностей на базе эвристической информации, в основе которой лежат знания о специфике решаемой проблемы. По мере накопления знаний эвристические методы приобретают все большую определенность и переходят в класс строгих методов. Применение эвристических методов предпочтительно, поскольку строгие методы, требующие полного описания знаний о предметной области, более трудоемки. При этом задача разработки сценария может быть сформулирована как задача эвристического поиска решения следующим образом.

Пусть  $S$  – множество состояний,  $\tilde{S} \in S$  – подмножество допустимых состояний,  $S_n \in \tilde{S}$ ,

$S_k \in \tilde{S}$  – подмножества начальных и конечных (целевых) состояний соответственно,  $F: S_{f1} \rightarrow S_{f2}$  – множество преобразований состояний (операторов, процедур и т.п.),  $G$  – множество критериев оценки принимаемых решений. Тогда задача эвристического поиска формально задается набором  $\langle S, \tilde{S}, S_n, S_k, F, G \rangle$  и интерпретируется как поиск последовательности преобразований  $f_1, f_2, \dots, f_n \in F$ , переводящей систему из заданного начального состояния  $s' \in S_n$  в некоторое целевое

$s'' \in S_k$ , причем оптимальным образом согласно принятым критериям.

Теоретически оптимальное решение может быть найдено путем полного перебора в множестве состояний. Однако число возможных состояний растет экспоненциально при линейном увеличении числа возможных операций. Подобное явление называют комбинаторным взрывом [12]. Для реальных предметных областей этот подход неприемлем по причине больших вычислительных затрат на поиск решения [10, 12]. Поэтому для поиска оптимального пути в пространстве состояний применяется оценочная функция вида

$$g(s) = q(s) + h(s), \quad (5)$$

где  $q(s)$  – оценка пройденного пути;  $h(s)$  – оценка оставшегося пути, базирующаяся на эвристической информации.

Для упрощения допустимо не использовать оценку оставшегося пути, но это увеличивает конечное время поиска. Введение эвристической информации в целом приводит к уменьшению сложности поиска решения.

Для решения подобных задач наибольшее распространение получили экспертные системы, в которых используется моделирование, основанное на декларативном знании. Они позволяют создавать модели, являющиеся недетерминированными описаниями моделируемого процесса [10, 12, 13].

Экспертные системы целесообразно применять при следующих условиях [6, 8]:

- данные и знания надежны и не меняются со временем;
- пространство возможных решений относительно невелико;
- в процессе решения задачи могут использоваться формальные выводы;
- имеются эксперты в рассматриваемой предметной области;
- нет эффективных численных методов решения задачи.

В общем случае к экспертным систем предъявляются следующие основные требования [13]:

- принимаемые системой решения должны соответствовать уровню эксперта-профессионала;
  - принимаемые решения должны воспроизводиться в форме, понятной пользователю;
  - система должна обладать возможностью использовать, приобретать и хранить общие и частные данные;
  - в процессе жизненного цикла система должна обладать свойствами ревизии данных и рассуждений.
- Исходя из названных требований экспертных систем, можно выделить их основные компоненты [13] (рис. 3):
- лингвистический процессор, осуществляющий связь системы с пользователем на доступном языке;
  - подсистему логического вывода, обеспечивающую построение схем рассуждения;
  - базу знаний для хранения и обработки знаний;
  - подсистему хранения текущих решений;
  - подсистему приобретения знаний;
  - подсистему ревизии знаний, позволяющую эксперту вмешиваться в ход принятия решения.

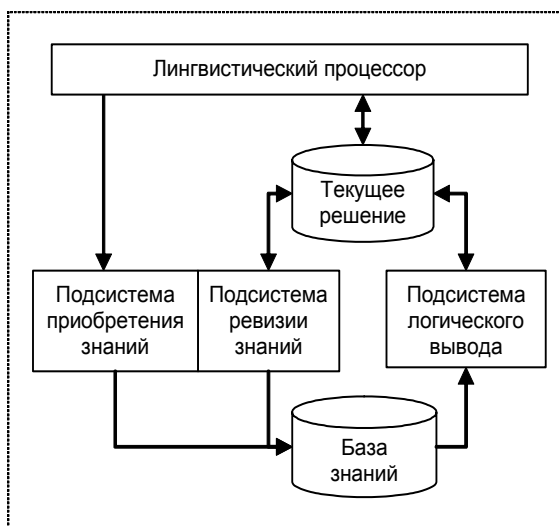


Рис. 3. Обобщенная структурная схема экспертной системы

Важнейшим компонентом экспертных систем является база знаний [10, 13]. В базе знаний системы должна содержаться как информация о конкретных фактах и закономерностях предметной области, так и о более общих законах и правилах, позволяющих получить новую информацию. Основой успеха экспертной системы, проектируемой для средств автоматизированных систем управления и тренажеров, является эффективная модель представления знаний, позволяющая не только накапливать информацию, но и эффективно ее обрабатывать [13].

Для выбора наиболее подходящей модели представления знаний необходимо иметь четкое представление о предметной области и способе приобретения знаний:

#### 1. Описание предметной области.

- Характерными решаемыми задачами в электроэнергетике является создание сценариев оперативных переключений для оперативного персонала.

- К объектам предметной области можно отнести все основное и вспомогательное оборудование энергопредприятий, а также оперативный персонал. Так как все выполняемые действия производятся в соответствии с нормативными и правовыми документами, они также относятся к объектам предметной области.

- Объекты предметной области должны иметь между собой связи, на основе которых экспертная система производит поиск решения. Большинство из объектов электроэнергетики выстраиваются в иерархические структуры, что позволяет упростить поиск решения и мониторинг базы знаний. Иерархия может строиться по территориальному признаку, назначению, уровню напряжения и т.д. Кроме того, необходимо предусмотреть связи модели деятельности с моделью объекта управления и моделью отображения.

#### 2. Описание способа приобретения знаний.

Большинство наиболее общих объектов и их связей возможно задать на этапе разработки экспертной системы. Но частные связи конечных объектов не могут быть заданы на этом этапе, они вводятся непосредственно при описании предметной области конкретной системы. Таким образом, необходимо пополнение базы знаний специалистом в предметной области. Следовательно, база знаний должна иметь семантику, известную этому специалисту, и четкую структуру.

В экспертных системах в настоящий момент наиболее распространено несколько моделей базы знаний [13]:

- **Продукционные модели.** Их основой является база правил «ЕСЛИ ... ТО...» Они обладают модульностью, единообразием и естественностью (вывод в продукционной системе аналогичен процессу рассуждений эксперта) [12, 13, 14]. Однако у экспертных систем, использующих продукционные базы знаний, процесс вывода не эффективен и в интересующей предметной области базы знаний подобного типа трудно поддаются управлению [10, 13].

- **Логика первого порядка** (исчисление предикатов). В ее основе лежит язык математической логики, позволяющий формально описывать понятия предметной области и связи между ними. Данные модели позволяют строить экспертные системы с высокой эффективностью вывода, но они обладают серьезным недостатком – сложностью отображения в модели семантики предметной области [10].

- **Графы, деревья и сети.** Они строятся на базе двух видов примитивов – узлы и связи. Узлы представляют собой исходящие и целевые пункты для связей и обычно каким-либо образом промаркированы. Наибольшее распространение получили взвешенные ориентированные графы – сети. Основное преимущество графов – структурированный подход представления знаний [12]. Однако при представлении предметных областей, основанных на описании естественных объектов, размерность графов становится очень большой, что усложняет управление базой знаний [13] и требует всякого рода дополнительных структур, утрачивая при этом первоначальную простоту структурированного подхода [12].

- **Фреймы.** Фрейм позволяет сконцентрировать все знания о данном классе объектов или событий в единой структуре данных наиболее естественным способом [15]. Знания сосредоточены в самой структуре и доступны. По существу, фрейм позволяет связать декларативные и процедуральные знания о некоторой сущности в структуру записей, которая состоит из слотов и наполнителей [12, 15], что позволяет описывать в терминах фреймов элементы объекта управления. Фреймы можно организовывать в виде «ослабленной иерархии» [12], в которой фреймы, расположенные ниже по иерархии, могут наследовать значения слотов разных фреймов, расположенных выше. Таким образом, фреймы реализуют объектно-ориентированный подход, что позволяет существенно упростить процесс наполнения базы знаний за счет механизма наследования (аккумуляции знаний), но требует знания определенной методологии разработки. Основным недостатком фреймовой системы является относительная трудоемкость механизма вывода [10].

**Модель объекта управления.** В тренажерах модель объекта управления присутствует либо в виде самостоятельной единицы, либо ее функции выполняются моделью деятельности или модулем отображения. При этом модель объекта управления является вырожденной, т.е. моделирует только внешние проявления режимов работы объекта управления, рассматриваемых в тренировке.

В интегрированных автоматизированных системах управления и тренажерах использование вырожденной модели деятельности представляется нецелесообразным, т.к. это существенно усложняет их описание из-за необходимости учитывать все возможные режимы работы объекта управления. Таким образом, в интегрированных системах модель объекта управления

должна быть автономным модулем и моделировать все режимы работы объекта управления.

Учитывая быстротечность большинства электроэнергетических процессов, множество моделируемых режимов работы объекта управления, необходимое для работоспособности тренажера, можно ограничить установившимися режимами [2].

Применение модели объекта, так же, как и модели деятельности, расширяет возможности автоматизированной системы управления, позволяя моделировать любое выполняемое действие и анализировать результат.

**Конфигуратор.** В автоматизированных системах управления и тренажерах к конфигуратору предъявляются разные требования.

В автоматизированных системах управления конфигуратор должен обеспечивать описание:

- модуля отображения;
- взаимодействия с объектом управления;
- взаимодействия между модулями.

В тренажере конфигуратор должен задавать:

- модуль отображения;
- модель объекта управления;
- модель деятельности.

Часть требований к конфигуратору в автоматизированных системах управления и тренажерах совпадает, что дает возможность его выполнения в универсальном виде.

В соответствии с вышеизложенным был разработан тренажер на основе экспертной системы, база знаний которой обладает «нулевой» избыточностью и построена на продукционной основе. В тренажере модель объекта управления и модель деятельности были совмещены. Разработке базы знаний предшествовало рассмотрение всех возможных решений, на основе которых выработаны необходимые правила продукции. В ходе создания тренажера удалось выделить следующие достоинства и недостатки рассматриваемого подхода.

**Достоинства:**

- относительная простота описания базы знаний, достигаемая за счет использования правил продукции;
- упрощенная подсистема логического вывода;
- высокая эффективность нахождения решения.

**Недостатки:**

- уникальность решения;
- сложность расширения и изменения базы знаний.

Принцип «нулевой» избыточности знаний может быть оправдан при построении уникальных тренажеров, но не приемлем для автоматизации их проектирования из-за неопределенности на этапе построения базы знаний [5]. В классическом случае она должна содержать объем знаний не менее эксперта, разрабатывающего сценарий тренировки. Однако при создании избыточной базы знаний возникает сложность ее сопровождения из-за большого объема. При этом экспертная система может оказаться неэффективной по причине чрезмерно большого множества решений.

Была также предпринята попытка построения баз знаний с применением фреймов на основе объектно-ориентированного подхода, что дало положительный результат.

Фреймы наиболее полно и естественно описывают интересующую предметную область. Они позволяют представить ее в наиболее приближенном виде к тому, в котором использует ее человек [15], и дают возможность совместить в общей структуре данные, необходимые для построения модели деятельности

(декларативное моделирование) и модели объекта управления (процедуральное моделирование). Это, в свою очередь, позволяет упростить автоматизацию их разработки. Но фреймы требуют навыков объектно-ориентированного проектирования. Поэтому их целесообразно использовать только на этапе разработки автоматизированных средств построения. При реализации систем на основе этих средств предпочтительнее использовать продукционный подход как более простой для специалистов в предметной области и не требующий дополнительных навыков.

Объекты предметной области можно структурировать по ряду признаков:

- типу объекта;
- классу напряжения;
- территориальному расположению и др.

Все элементы предметной области разделяются на следующие типы:

- субъекты тренировки;
- объекты тренировки;
- территория тренировки;
- нормативные и правовые документы.

Субъектами предметной области является персонал энергообъектов, реально или виртуально участвующий в управлении, например, применительно к электрической станции:

- начальник смены станции;
- начальник смены электроцеха;
- старший дежурный электромонтер;
- дежурный электромонтер;
- машинист котло-турбинного цеха и др.

Для каждого из них описываются статус и права на внесение изменений в объект управления в зависимости от типа объекта, его территориального расположения, класса напряжения и т.п. Эти права основываются на нормативных и правовых документах.

К объектам предметной области относится все первичное, вторичное и вспомогательное оборудование энергопредприятия. Они имеют свое территориальное расположение, перечень субъектов, имеющих право оперировать ими, и перечень документов, регламентирующих эти операции. Описание свойств объектов предметной области зависит от типа оборудования.

По территориальному расположению объекты управления могут быть разделены на группы. Например, для электрической станции можно выделить:

- машинный зал;
- центральный щит управления;
- блочный щит управления;
- распределительное устройство собственных нужд;
- открытое распределительное устройство и другие.

Описание документов, регламентирующих производство операций, наиболее удобно формализовать правилами продукции [16]. Фреймы, в которых они хранятся, являются вырожденными и фактически являются структурированным набором правил продукции в виде фреймов.

Синтаксис объявления фрейма выглядит следующим образом:

```
frame <имя фрейма> [: <имя фрейма родителя 1>[(слот1,
    слот2,
    ...
    слотN)]]
[, <имя фрейма родителя 2>[(слот1,
    слот2,
    ...
    слотN)]]
...
[, <имя фрейма родителя N>[(слот1,
    слот2,
```

```

...
slotN]]
{
  slot [<тип слота>] { [<вопрос слота?>]:
    <значение1>; <значение2>; ...;
    <значениек> |
    <тип переменной>
  }
  <имя слота> [= <значение слота>]
  [event <имя функции>];
  <тип переменной> <имя функции> (<тип переменной>
    <параметр1>,
    <тип переменной>
    <параметр2>,
    ...
    <тип переменной>
    <параметрк>)]
  [event <имя функции>];
  <тип переменной> <имя переменной> [= <значение
    переменной>]
  [event <имя функции>];
};

```

Каждый фрейм начинается с ключевого слова *frame* и его имени. Далее может следовать перечень фреймов, от которых он наследуется, с перечнем наследуемых свойств. Таким образом, допускается множественное выборочное наследование. После объявления фрейма следует его описание, которое может состоять из слотов, используемых при логическом выводе функций и переменных, необходимых для построения модуля отображения и связи с моделью объекта управления.

Объявление слота состоит из ключевого слова *slot*, типа слота и описания слота. После описания слота следует объявление экземпляра этого слота с возможной его инициализацией. При описании слота допустимо указывать перечень возможных значений или тип переменной, используемой слотом. В качестве переменной может использоваться другой фрейм.

Фрейм может содержать переменные и функции для моделирования и отображения объекта управления.

Для описания правил продукции используется следующий синтаксис:

```

if (условие правила) <заключение>
[else <заключение>];

```

Здесь для каждого правила задается условие и заключения для случаев выполнения и не выполнения условия.

Ниже приводится пример заполнения фреймов для высоковольтного выключателя и персонала:

```

frame FПерсонал
{
  slot { «НСЭ», «машинист», «НСС», «ст. ДЭМ ст.» }
  персонал;
}

frame FВыключатель : FObject
{
  enum ЕСостояние {включен, выключен};
  slot {Территориальное расположение? : FTерритория}
  расположение = ОРУ;
  slot {Класс напряжения? : FНапряжение(класс)}
  напряжение = 110 кВ;
  slot {Тип выключателя? : «масляный»,
    «маломасляный»,
    «воздушный»,
    «элегазовый»} тип =
    маломасляный;
  slot {Субъект воздействия? : FПерсонал}
  персонал = НСЭ;
  slot {Правила использования? : FНоменклатура}
  правила;
  ЕСостояние состояние = выключен;
  picture изображение Выключатель1.pic;
}

```

Результаты интеграции автоматизированной системы управления и тренажера можно представить в виде обобщенной структурной схемы (рис. 4).

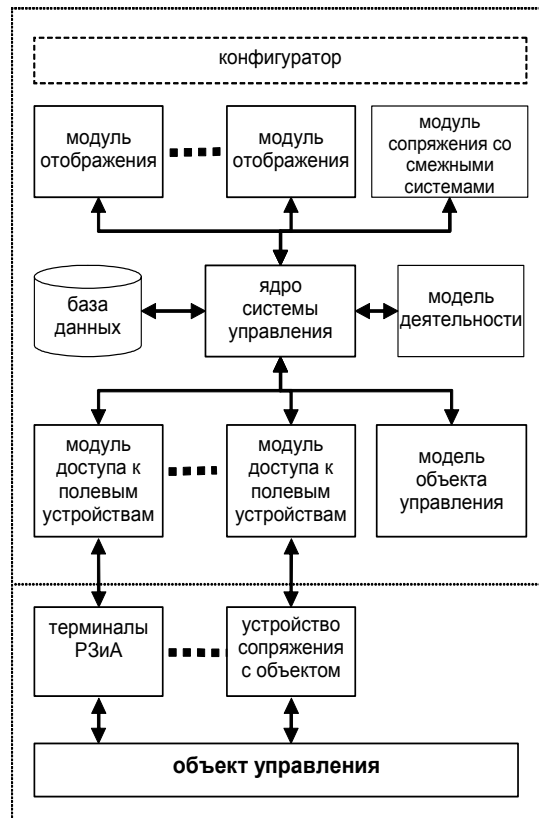


Рис. 4. Обобщенная структурная схема интегрированных автоматизированной системы управления и тренажера

Можно заметить, что структура интегрированных автоматизированной системы управления и тренажера отличается от структуры автоматизированной системы управления (рис. 1) наличием модели объекта управления и заменой модуля аналитических выводов моделью деятельности.

### Заключение

В настоящее время в электроэнергетике целесообразно совмещение автоматизированных систем управления и тренажеров для подготовки персонала. Это дает следующие преимущества:

- расширение возможностей автоматизированных систем управления;
- соответствие режимов тренировки реальным условиям;
- сокращение затрат на разработку и эксплуатацию тренажеров.

При разработке интегрированных систем целесообразно применение эвристических методов и базы знаний о предметной области с использованием экспертной системы.

При описании базы знаний из множества способов формализации предпочтительным является использование фреймов с возможностью пополнения базы знаний о предметной области в производственном виде.

### Список литературы

1. **Андреев Е.Б., Куцевич Н.А., Синенко О.В.** SCADA-системы: взгляд изнутри. – М.: Изд-во «РТСофт», 2004.
2. **Автоматизация** построения тренажеров и обучающих систем / В.Д. Самойлов, В.П. Березников, А.П. Писаренко, С.И. Сметана. – Киев: Наук. думка, 1989.
3. **Коротков В.Ф., Никологорский В.В., Фомичев А.А.** Управление процессом отображения информации в компьютерных тренажерах // Повышение эффективности работы ТЭС и энергосистем: Тр. ИГЭУ. Вып. 1. – Иваново, 1997.
4. **Орнов В.Г., Семенов В.А.** Тренажеры для диспетчерского персонала энергосистем и энергообъединений. Обзорная информация. – М.: Информэнерго, 1984.
5. **Сметана С.И.** Автоматизированная система построения тренажеров оперативных переключений. – Киев, 1988.
6. **Сметана С.И., Переверзев И.А.** Противоаварийный тренажер для диспетчерского персонала электрических сетей. – Киев, 1988.
7. **Федоров М.Ю., Стеценко О.Я.** Автоматизация моделирования энергетического оборудования человеко-машинных систем энергетики. – Киев: Общ-во «Знание», 1989.
8. **Коротков В.Ф., Никологорский В.В., Фомичев А.А.** Об опыте разработки САПР компьютерных средств обучения электротехнического персонала // Повышение эффективности работы ТЭС и энергосистем: Тр. ИГЭУ. Вып. 1. – Иваново, 1997.
9. **Коротков В.Ф., Никологорский В.В., Фомичев А.А.** Формализация сценариев противоаварийных тренажеров для оперативного электротехнического персонала // Повышение эффективности работы ТЭС и энергосистем: Тр. ИГЭУ. Вып. 1. – Иваново, 1997.
10. **Башлыков А.А., Еремеев А.П.** Экспертные системы поддержки принятия решений в энергетике. – М.: Изд-во МЭИ, 1994.
11. **Волков И.К., Загоруйко Е.А.** Исследование операций: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.
12. **Джексон Питер.** Введение в экспертные системы. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 624 с.
13. **Чичварин Н.В.** Экспертные компоненты САПР. – М.: Машиностроение, 1991.
14. **Сойер Б., Фостер Д.Л.** Программирование экспертных систем на Паскале. – М.: Финансы и статистика, 1990.
15. **Минский М.** Фреймы для представления знаний: Пер. с англ. – М.: Энергия, 1979.
16. **Формализация** модели деятельности в компьютерных тренажерах на основе экспертных систем / В.Ф. Коротков, В.В. Никологорский, А.А. Савинов, А.А. Фомичев // Повышение эффективности работы энергосистем: Тр. ИГЭУ. Вып. 5. – М.: Энергоатомиздат, 2002.

*Коротков Владимир Федорович,*

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, профессор кафедры автоматического управления электроэнергетическими системами,  
телефон (4932) 26-99-05,  
e-mail: zav@rza.ispu.ru

*Фомичёв Андрей Альбертович,*

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, доцент кафедры автоматического управления электроэнергетическими системами,  
телефон (4932) 26-99-05,  
e-mail: zav@rza.ispu.ru

*Никологорский Владимир Валерьевич,*

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
инженер кафедры автоматического управления электроэнергетическими системами,  
телефон (4932) 26-99-05,  
e-mail: zav@rza.ispu.ru

*Савинов Алексей Александрович,*

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
инженер кафедры автоматического управления электроэнергетическими системами,  
телефон (4932) 26-99-05,  
e-mail: zav@rza.ispu.ru