

УДК 681.3:62-52

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА УПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ

Т.Б. Чистякова

СПбГТИ (ТУ)

Россия, 190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 26

E-mail: chistb@mail.ru

О.В. Ершова

СПбГТИ (ТУ)

Россия, 190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 26

E-mail: erol@rambler.ru

Ключевые слова: разработка компьютерных тренажеров в среде SCADA-систем; автоматизированное рабочее место (АРМ); обучаемый, инструктор; сценарии обучения, контроль знаний, протокол обучения.

Аннотация: Предложена методика создания компьютерных тренажеров в среде SCADA-систем. Тренажеры предназначены для обучения персонала и приобретения навыков эффективного управления электротехнологическими установками в производствах алюминия, карбида кальция и фосфора. Разработаны функциональная структура тренажеров, информационное и математическое обеспечение. Представлены результаты программной реализации.

1. Введение

В настоящее время в Российской промышленности остро ощущается потребность как в высококвалифицированных кадрах, так и в прогрессивных средствах их обучения. Для повышения квалификации персонала целесообразно использовать компьютерные тренажеры, что является сложившейся общемировой практикой [1-3], поскольку использование реального оборудования с целью обучения, чаще всего, невозможно. Разработка и внедрение на российских предприятиях эффективных средств обучения персонала, ведется с конца прошлого века до настоящего времени [4-7]. Тенденции развития промышленности и информационных технологий предъявляют высокие требования к разработке и времени создания программного обеспечения (ПО) тренажеров, поэтому необходимо использовать развитые среды разработки, позволяющие создавать интерфейсы для управляющего персонала, максимально приближенные к реальным объектам и в ограниченные сроки. Эффективно решить эти задачи позволяет разработка ПО в среде SCADA-систем.

В данной работе предложен подход к построению компьютерных тренажеров в среде SCADA для приобретения персоналом профессиональных компетенций при управлении электротехнологическими установками (ЭУ).

ЭУ, являющиеся объектом изучения и управления, характеризуются общими признаками: потенциально-опасные, энергоемкие; имеют различный состав сырья и жесткие требования к качеству продукции; производство целевого продукта происходит в результате сложных химических реакций под действием высоких температур, когда одновременно протекают различные процессы, связанные с химическими и фазовыми превращениями, поэтому ими сложно управлять. При этом значительную роль в поддержании регламентного режима играет опыт обслуживающего персонала [8-12], которого зачастую недостаточно, чтобы избежать нарушений регламента.

Требования, предъявляемые к сырью, поступающему из разных источников и имеющему разное содержание примесей, необходимы для обеспечения заданной степени химического превращения и обеспечения качества целевого продукта. Соотношение сырьевых компонентов определяется технологическим регламентом [9, 10], а управляющий персонал должен уметь определять эти соотношения для получения продукта требуемого качества.

Типовыми нештатными ситуациями являются: нарушение грануляции компонентов сырья, превышение примесей в сырье, снижение концентрации ключевого компонента в продукте, повышение или понижение температуры расплава и другие.

Характеристики продукции регламентируются ГОСТами, которые определяют сортность, ассортимент продукции, и обусловлены качеством сырья и соблюдением технологии процесса. Для учета этих особенностей необходимы модули управления в штатных и нештатных ситуациях для обеспечения безопасного регламентного режима эксплуатации и снижения количества брака, поскольку из-за высокой энергоемкости производств потери обходятся слишком дорого.

Системы управления также имеют общие характеристики: контролируемые входные переменные, управляющие воздействия (расходы сырья, положение электрода), различающиеся по степени влияния и частоте применения, возмущающие воздействия, высокая температура реакции. Все это обуславливает общие задачи управления.

Таким образом, с учетом общих признаков ЭУ целесообразно создание единой структуры ПО тренажеров для этого класса объектов. Разработка ПО в среде SCADA-систем является актуальной наукоемкой задачей на пути повышения надежности, безопасности и эффективности их функционирования, имеющей практическую ценность. Современные технологии позволяют значительно сократить сроки разработки, что подтверждает правильность выбранного подхода. Интеграция тренажеров и АСУТП, используемых на предприятии, позволит приобретать профессиональные умения и навыки, используя реальные производственные данные [13].

Для синтеза общей структуры ПО тренажеров проведена обобщенная классификация параметров, представленная на рис. 1.

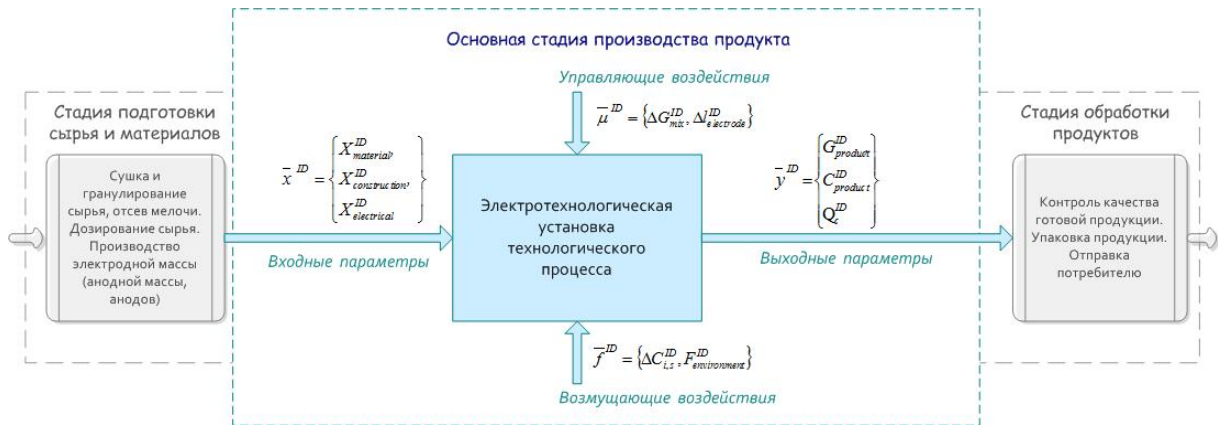


Рис. 1. Обобщенная классификация параметров электротехнологических установок. ID – идентификатор процесса: $ID=1$ – производство алюминия, $ID=2$ – производство карбида кальция, $ID=3$ – производство фосфора; \bar{x}^{ID} – входные параметры: $X_{material}^{ID}$ – характеристики сырья (удельные расходы сырья, концентрация i -го химического компонента в s -ом входном потоке, гранулометрический состав s -го входного потока); $X_{construction}^{ID}$ – конструктивные параметры электротехнологической установки (диаметр печи \ длина и ширина печи, высота печи, диаметр электрода или анода); $X_{electrical}^{ID}$ – электрические параметры установки; $\bar{\mu}^{ID}$ – управляющие воздействия: ΔG_{mix}^{ID} – расходы сырья, т/ч; $\Delta l_{electrode}^{ID}$ – положение электродов, м; \bar{f}^{ID} – возмущающие воздействия: $\Delta C_{i,s}^{ID}$ – колебания химического состава i -го компонента в s -ом входном потоке сырья; $F_{environment}^{ID}$ – колебания параметров окружающей среды (температура, влажность); \bar{y}^{ID} – выходные параметры: $G_{product}^{ID}$ – количество получаемого продукта, т/ч; $C_{product}^{ID}$ – концентрация ключевого компонента в расплаве, масс.доли; Q_c^{ID} – общее количество электроэнергии, потребленной из сети за время замера τ (по счетчику), Вт.

Постановка задачи обучения оптимальному управлению: для заданного вектора входных параметров X^{ID} при влиянии возмущений f^{ID} варьированием значений μ^{ID} управляющих воздействий в регламентных диапазонах $\{\Delta IID_{min} \leq \Delta IID \leq \Delta IID_{max}, \Delta GID_{min} \leq \Delta GID \leq \Delta GID_{max}\}$, зависящих от типов оборудования и сырья, найти такой вектор управлений $\mu^{ID}_{opt} = \{\Delta GID_{opt}, \Delta IID_{opt}\}$, при котором обеспечиваются минимальное количество потребленной электроэнергии Q_c , требуемая производительность ($GID_{product}$) и заданное качество ($CID_{product}$) выпускаемого продукта при соблюдении ограничений на параметры безопасности $IID_{electrode} \leq IID_{don}, mmelt \leq mmelt_{max}, Tmelt \leq Tmelt_{max}$.

Постановка задачи обучения управлению в нештатных ситуациях: для заданного вектора входных параметров X^{ID} на основе описания нештатных ситуаций, связанных с выходом показателей безопасности и работоспособности оборудования за допустимые пределы, причин их возникновения, определить наиболее вероятную причину ситуации, а также величину и направление изменения управляющих воздействий μ^{ID} , которые обеспечат выход объекта из режима нарушения регламентных границ значений технологических параметров и возвращение их в допустимый диапазон функционирования.

Для создания тренажеров разработаны информационное, математическое и программное обеспечение.

2. Информационное обеспечение

Информационное обеспечение разработано на основании формализованного описания и включает:

- базу данных (БД) административного и производственного персонала с соответствующими правами доступа;
- БД параметров процесса, настраиваемая на различные пороговые ограничения. При интеграции обучающей системы в АСУТП предприятия текущие значения параметров процесса поступают из производственной БД [13];
- базу знаний (БЗ) по управлению в нештатных ситуациях (НС) на основе экспертных знаний и данных по эксплуатации объекта, которая содержит сведения о типовых НС, причинах их возникновения и рекомендациях по устранению. Знания экспертов в базе знаний формализованы с использованием продукционно-фреймовой модели. Структура информационного обеспечения представлена в работе [14].

3. Математическое обеспечение

Математическое обеспечение включает математические модели (ММ) процессов. Задача синтеза ММ заключается в определении структуры и обеспечении допустимой точности путем настройки коэффициентов модели [14, 15]. Функциональные соотношения математической модели с использованием классификации параметров представлены в виде: $\bar{y} = \varphi(\bar{x}, \bar{\mu}, \bar{f})$.

ММ позволяют определять влияние характеристик сырья, электрических параметров и управляющих воздействий на выходные показатели; изучать причинно-следственные связи при обучении управлению в различных режимах функционирования, например, при различной производительности или при использовании различного сырья.

4. Программное обеспечение тренажеров

В качестве инструмента для создания ПО тренажеров выбрана SCADA-система как универсальная среда разработки, позволяющая на современном уровне создать модули расчета, динамической визуализации, интерфейсы, имитирующие пульты управления. Разработанная средствами SCADA HMI функционально-информационная структура включает: БД; скрипты для реализации ММ и сценариев обучения; модули отображения информации с помощью средств визуализации (анимации, временных графиков, динамических элементов отображения и управления) и т.д. Методика синтеза протестирована на примере SCADA- InTouch [13]. ПО позволяют осуществлять настройку тренажеров на обучение управлению объектом с различными источниками сырья (при смене поставщика), различного оборудования и различной производительности. Структура ПО представлена на рис. 2.

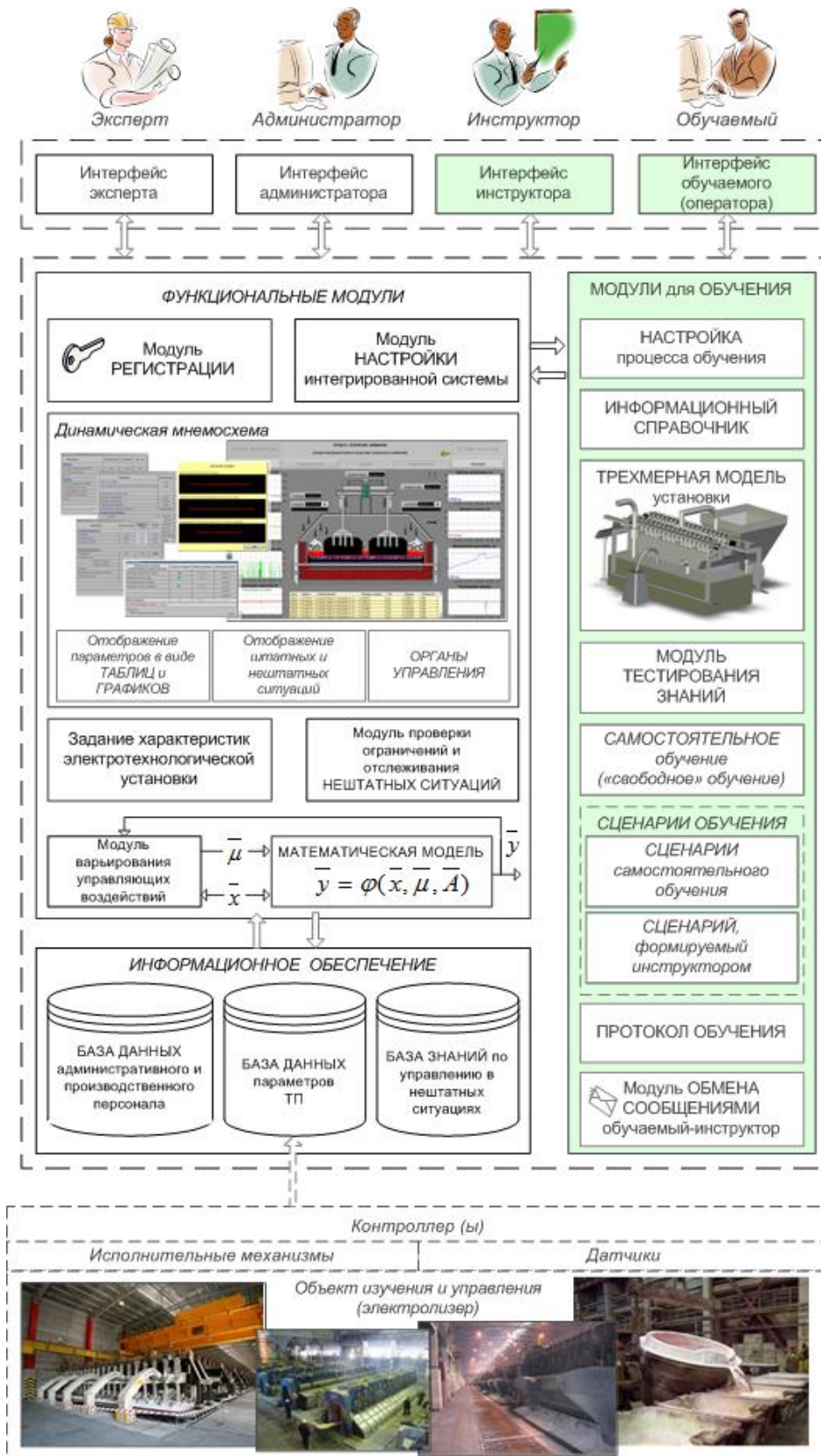


Рис. 2. Функционально-информационная структура ПО компьютерных тренажеров для ЭУ.

В тренажерах возможны различные варианты обучения: изучение теоретического материала с помощью информационно-справочной подсистемы; тестирование теорети-

ческих знаний с помощью тестовой подсистемы; изучение процесса посредством мнемосхемы, ознакомление с динамическими элементами отображения и управления, возможность варьирования значений управляющих воздействий для обеспечения оптимального режима; настройка системы на конкретное оборудование (геометрия, мощность, производительность); настройка ограничений параметров БД; изучение причинно-следственных связей процесса в режиме самостоятельного (свободного) обучения, в результате которого происходит формирование навыков контроля и управления процессом; приобретение навыков поведения в режиме НС; работа по самостоятельным сценариям обучения; работа по заданному инструктором сценарию.

Для проведения обучения разработаны автоматизированные рабочие места (АРМ) обучаемых и инструктора. АРМ обучаемого подобен АРМ оператора. Основным окном является динамическая мнемосхема, которая имеет набор вложенных окон, элементы управления, отображения информации в виде таблиц и графиков. Методы синтеза тренажеров протестированы на примерах электрохимического производства алюминия и электротермических производств карбида кальция и фосфора. Главные окна АРМ обучаемых для трех производств представлены на рис. 3.

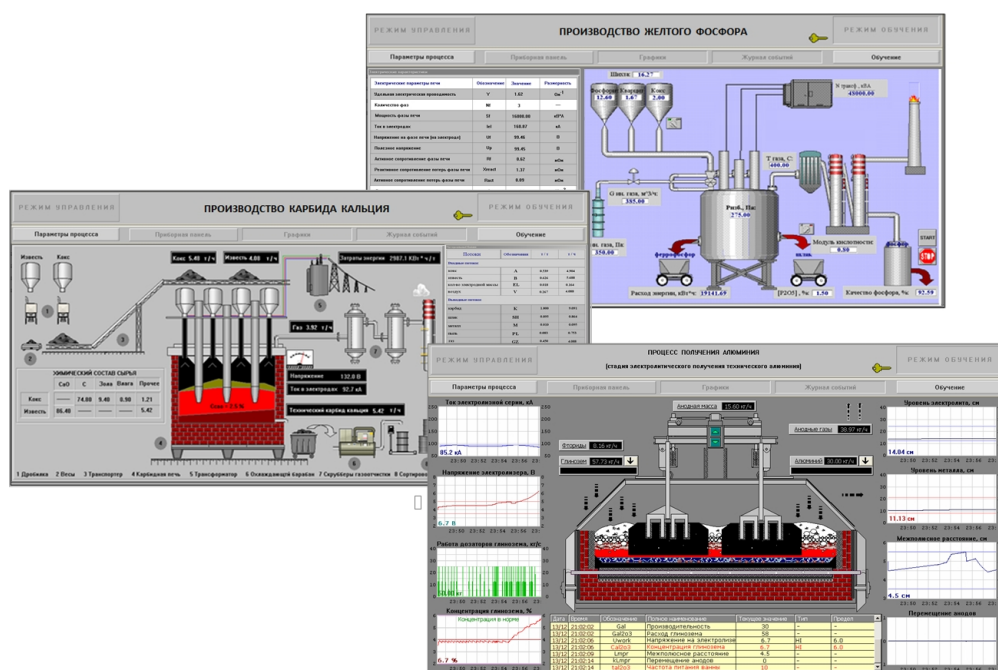


Рис. 3. АРМ операторов.

АРМ инструктора разработано для организации и проведения процесса обучения, контроля действий обучаемых и оценки их работы. АРМ содержит средства сигнализации и графического отображения информации, возможности наблюдения и анализа с удаленного компьютера за действиями нескольких обучаемых. Инструктор может запускать различные режимы обучения (отдельные сценарии или экзаменационный режим), вмешиваться в процесс обучения, а также давать соответствующие подсказки-рекомендации или отвечать на возникающие у обучаемых вопросы. По результатам обучения формируется протокол обучения, который содержит данные обучаемого, дату и время обучения, сценарий и наименование моделируемых ситуаций, статус ситуации (устранена/не устранена), перечень параметров, характеризующих ситуацию, регламентные значения параметров и отклонения их от нормы. Протокол доступен инструктору и обучаемому, и является документом для оценки квалификации обучаемого.

5. Заключение

Предложена методика синтеза компьютерных тренажеров в среде SCADA HMI, позволяющая сократить время разработки и создавать эргономичные интерфейсы, максимально приближенные к реальным объектам и пультам управления. Тренажеры позволяют проводить первичное обучение, приобретать навыки эффективного управления неопытным операторам, а опытному персоналу повышать свою квалификацию.

Обучение персонала с помощью разработанных тренажеров решает следующие задачи: снижение финансовых и временных затрат на обучение, сбережение и экономия сырья, материалов, энергетических ресурсов; снижение брака, сокращение аварийных ситуаций, повышение качества целевого продукта, ведение процесса в ресурсосберегающем режиме; формирование у обучаемых профессиональных компетенций для эффективного и безопасного управления.

Результаты тестирования тренажеров подтвердили их работоспособность, получили положительную экспертную оценку, имеются акты о внедрении в опытно-промышленную эксплуатацию и учебный процесс ОАО «СУАЛ»; в учебный и научно-исследовательский процессы Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета); в корпоративный университет «РУСАЛ-ВАМИ»; в учебный процесс Иркутского государственного технического университета, в опытную эксплуатацию и для обучения персонала ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики»; для проведения исследовательских и проектных работ ООО «ГИПРОХИМ-ТЕХНОЛОГ».

Список литературы

1. Tajini R., Lissane Elhaq S., Rachid A. Modelling methodology for the simulation of the manufacturing systems // *International Journal of Simulation and Process Modelling*. 2014. Vol. 9, No. 4.
2. Shkelzen Cakaj. Modeling Simulation and Optimization: Focus on Applications // *InTech*. 2010.
3. McHaney R. *Understanding Computer Simulation*. BookBoon, 2009. 172 p.
4. Файзрахманов Р.А., Полевщиков И.С. Анализ методов и средств автоматизации процесса обучения операторов производственно-технологических систем (на примере операторов перегрузочных машин) // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 5. URL: science-education.ru/111-10494.
5. Аракелян Э.К., Андриюшин А.В., Бурцев С.Ю. Использование компьютерных тренажеров для проведения модельных исследований в энергетике // *Вестник МЭИ*. 2015. № 2.
6. Ахметшин А.И., Даринцев О.В. Сравнительный анализ современных тренажерных комплексов в системе подготовки и аттестации оперативного персонала, обслуживающего технологические процессы // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 4.
7. Дозорцев В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов. М.: СИНТЕГ, 2009. 372 с.
8. Ершов В.А., Пименов С.Д. *Электротермия фосфора*. СПб: Химия, 1996. 248 с.
9. *Электротермические процессы и реакторы : учебное пособие*. С.П. Богданов, К.Б. Козлов, Б.А. Лавров, Э.Я. Соловейчик / Под ред. Б. А. Лаврова. СПб.: Проспект Науки, 2009. 400 с.
10. Фитерман М.Я., Берх В.И., Локшин Р.Г. Пути повышения эффективности производства и улучшения организации труда при автоматизации предприятий алюминиевой подотрасли // *Цветная металлургия*. 1989. № 2.
11. Педро А.А., Арлиевский М.П., Куртенков Р.В. Особенности существования электрохимических процессов в ванне руднотермической печи // *Сб.Трудов Всероссийской НТК с международным участием «Электротермия-2010»*. СПбГТИ (ТУ). СПб., 2010.
12. Жантасов М.К. Совершенствование технологии и модернизация основного технологического оборудования электротермического производства фосфора // *Сб.Трудов Всероссийской НТК с международным участием «Электротермия-2010»*. СПбГТИ (ТУ). СПб., 2010.

13. Ершова О.В. Компьютерные тренажерные комплексы для повышения эффективности управления процессами электротермического производства // Проблемы управления. 2010. № 3.
14. Ершова О.В., Полякова А.М., Чистякова Т.Б. Компьютерные тренажерные комплексы для обучения персонала управлению процессами электрохимических производств // Автоматизация в промышленности. 2013. № 12.
15. Ершова О.В., Чистякова Т.Б. Программные комплексы для управляющего персонала электротермических производств // Известия СПбГТИ(ТУ). 2015. № 28.