

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТРЕНАЖЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА УПРАВЛЕНИЮ ПРОЦЕССАМИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

О.В. Ершова, А.М. Полякова, Т.Б. Чистякова (СПбГИ(ТУ))

Рассмотрены вопросы разработки компьютерных тренажерных комплексов, предназначенных для обучения персонала и повышения эффективности управления электрохимическими процессами на примере стадий электролиза и рафинирования производства алюминия. Предложена структура комплексов, охарактеризованы функциональные компоненты, обеспечивающие приобретение навыков эффективного управления и контроль знаний.

Ключевые слова: компьютерные тренажерные комплексы, обучаемый, инструктор, автоматизированное рабочее место (АРМ), сценарии обучения, протокол обучения.

Введение

Электрохимические производства алюминия, как и другие производства химической и металлургической промышленности, характеризуются совокупностью сложного аппаратного оформления ТП и систем управления, поэтому работать на предприятиях алюминиевой отрасли должен хорошо обученный, технически грамотный, высококвалифицированный производственный персонал. Подготовку, переподготовку и повышение квалификации рабочих и специалистов для алюминиевых заводов необходимо проводить с использованием компьютерных тренажеров (КТ), поскольку их применение в течение последних десятилетий подтверждает эффективность приобретения необходимых знаний и навыков управления в процессе образования.

Современные КТ должны обеспечивать углубленный тренинг операторов сложных ТП в управлении установками, давая практический опыт оперирования в разнообразных ситуациях, включая: нормальные технологические условия при различных производительностях установок и свойствах сырья; нарушения технологических режимов и сбои в работе оборудования; плановые и аварийные остановки; переходы на новые технологические режимы. КТ незаменимы для вновь строящихся и кардинально реконструируемых установок, однако и в условиях уже функционирующего глубоко автоматизированного технологического объекта тренажеры необходимы, чтобы в отсутствии аварийных ситуаций не позволить операторам потерять навыки управления. Важно также обеспечить на основе КТ возможность оценки навыков и профессиональных умений операторов для их последующей тарификации и сертификации [1].

Учитывая сложность и потенциальную опасность алюминиевых производств актуальность разработки компьютерных тренажерных комплексов для подготовки квалифицированного производственного персонала очевидна.

Разработка компьютерных тренажерных комплексов (КТК) проводилась по этапам: описание ТП как системы обучения и тренажа; описание типовой структуры КТК; разработка информационных и математических моделей, сценариев обучения; разработка алгоритмов управления, направленных на улучшение технологических и технико-экономических показате-

телей производства; разработка интерфейса обучаемого; разработка интерфейса инструктора; ведение протокола обучения; алгоритмы настройки КТК в зависимости от знаний обучаемых и для различных режимов эксплуатации объекта управления [2].

Описание функциональной структуры интегрированных тренажерных комплексов для алюминиевых производств

Тренажерные комплексы предназначены для: профессиональной подготовки операторов и технологов производства, изучения ТП, выработки навыков управления в различных режимах эксплуатации, отработки мероприятий по локализации аварийных ситуаций, объективного контроля уровня знаний производственного персонала.

Для обучения операторов управлению процессом электролиза разработана функциональная структура системы [3], в нее входит информационное обеспечение, интегрируемое в информационное пространство предприятия; математическая модель для расчета параметров процесса; модуль настройки системы на различные типы электролизеров; АРМ пользователей системы и модули обучения, такие как информационный справочник, трехмерные модели электролизеров, модуль тестирования знаний, сценарии обучения (рис. 1).

Информационное обеспечение

Начальным этапом разработки КТК является изучение ТП, структуризация информации с целью создания информационного обеспечения и разработки БД параметров ТП.

Технологический процесс получения алюминия состоит из трех основных стадий: получение глинозема (Al_2O_3) из алюминиевых руд; получение алюминия из глинозема; рафинирование алюминия.

Глинозем производят из бокситов в химических цехах алюминиевых заводов или на отдельных заводах [4].

Первичный алюминий получают путем электролиза криолит-глиноземного расплава в электролизерах. Производство алюминия является очень энергоемким, поэтому заводы для получения алюминия строят всегда около мощных электростанций, в тех регионах, где есть свободный доступ к источникам электроэнергии. Например, Волховский алюми-

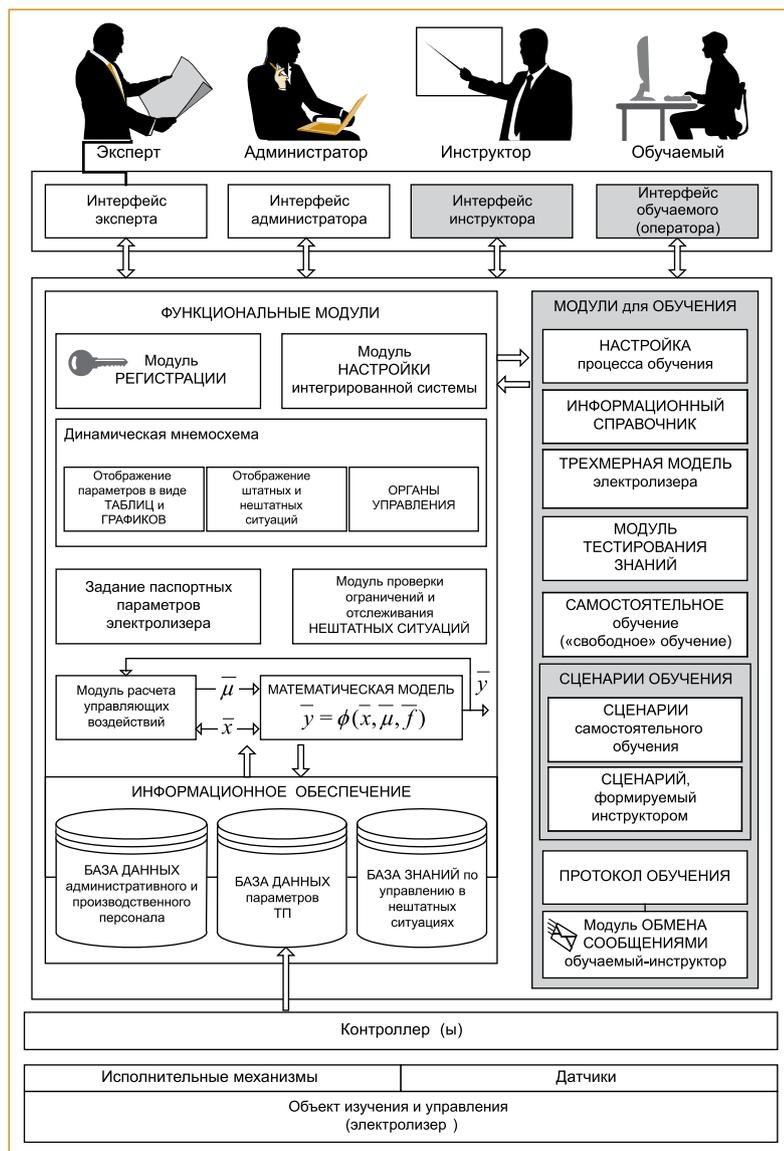


Рис. 1. Функциональная структура тренажерных комплексов для обучения персонала алюминиевых производств

евый завод, расположенный в Ленинградской области, имеет в качестве источника электроэнергии Волховскую ГЭС; метод производства — технология электролиза с использованием обожженных анодов. Алюминий, извлекаемый из электролизных ванн, называют алюминием-сырцом. Он содержит металлические (Fe, Si, Cu, Zn и др.) и неметаллические примеси, а также газы (водород, кислород, азот, оксиды углерода, сернистый газ). Из двух тонн глинозема выходит одна тонна алюминия.

Для повышения чистоты алюминия (дополнительное очищение от примесей) используется стадия рафинирования алюминия.

Различные производства алюминия характеризуются различными типами электролизеров, различным сырьем, различными требованиями к целевому продукту (алюминию), различными объемами производства.

При описании ТП производства алюминия как системы изучения и управления необходимо учиты-

вать такие его признаки, как: особенности аппаратно-технологического оформления; характеристики режимов функционирования объекта (регламентный режим, нестандартные или аварийные ситуации); влияние состава сырья на производительность оборудования; характеристику возмущающих воздействий и др.

На основе анализа процесса получения алюминия как объекта изучения и управления разработано формализованное описание, в соответствии с которым все параметры классифицированы на входные/выходные, управляющие и возмущающие воздействия.

Процесс электролиза алюминия можно охарактеризовать совокупностью технологических параметров, их пороговых ограничений и функциональных соотношений математической модели, представленной в виде: $y = \phi(x, \mu, f)$, где \bar{x} — вектор входных параметров процесса; μ — вектор управляющих воздействий; \bar{f} — вектор возмущающих воздействий; y — вектор выходных параметров процесса.

Входные параметры — это параметры ТП, значения которых могут быть измерены, но возможность воздействовать на них отсутствует: мощность, сила тока электролизной серии, конструктивные параметры электролизеров (габариты электролизной ванны, анодного устройства и т. п.) и т. п.

С помощью управляющих воздействий регулируют протекание процесса: загрузку глинозема, выливку металла, изменение межполюсного расстояния (расстояние от подошвы анодов или анодного массива до поверхности металла), состав электролита.

К выходным показателям относят измеряемые параметры ТП, а также рассчитанные по математической модели: рабочее напряжение на электролизной ванне, производительность электролизера, количество металла и электролита в электролизной ванне, концентрация глинозема в электролите, температура электролита, межполюсное расстояние, выход по току, расход электроэнергии и т. п.

В процессе работы электролизер подвергается случайным возмущениям, к которым относятся обвалы корки, колебания тока и температуры расплава, колебания температуры наружного воздуха, колебания в химическом составе сырья, замыкания; а также периодические операции при обслуживании электролизеров: загрузка сырья, выливка металла, перестановка штырей (смена анодов), корректировка электролита.

На рис. 2 представлена структура формализованного описания процесса получения алюминия элек-

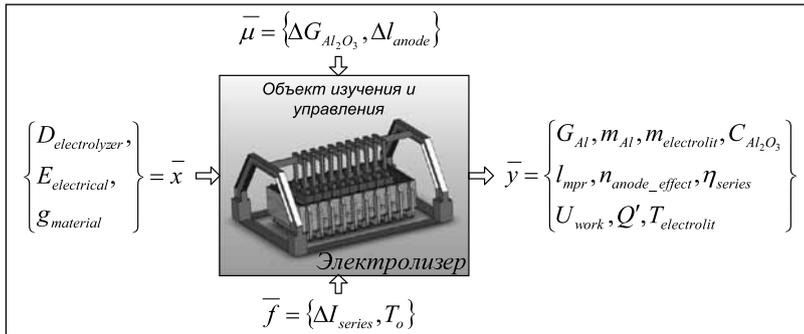


Рис. 2. Формализованное описание процесса получения алюминия как объекта изучения и управления

тролизом криолит-глиноземного расплава как объекта изучения и управления [3].

Здесь $D_{electrolyzer}$ — конструктивные параметры электролизера; $E_{electrical}$ — электрические параметры электролизера (I — сила тока электролизной серии, А; P — мощность электролизной серии, Вт); $g_{material}$ — удельные расходы сырья ($g_{Al_2O_3}$ — удельный расход глинозема, кг/кг_{Al}; g_{anode} — удельный расход анодов/анодной массы, кг/кг_{Al}; $g_{fluoride}$ — удельный расход фтористых солей, кг/кг_{Al}); $\Delta G_{Al_2O_3}$ — расход загружаемого глинозема, кг/с; ΔL_{anode} — изменение положения анодов, м; ΔI_{series} — флуктуации тока серии, А; T_o — температура окружающей среды, °С; G_{Al} — производительность электролизера, кг/с; m_{Al} — количество алюминия в электролизере, кг; $m_{electrolite}$ — количество электролита в электролизере, кг; $C_{Al_2O_3}$ — концентрация глинозема в электролите, мас. доли; I_{mpr} — межполюсное расстояние, м; n_{anode_effect} — число анодных эффектов на электролизере; η_{series} — выход по току, %; U_{work} — рабочее напряжение, В; Q — количество тепла в электролизере, Дж; $T_{electrolite}$ — температура электролита, °С.

В процессе получения алюминия возникают различные эксплуатационные (в рамках нормального режима функционирования) и нештатные ситуации (отклонение от нормы и превышение допустимых границ изменения параметров). На основе разработанного формализованного описания были сформулированы задачи управления в штатных и нештатных ситуациях, а также задачи обучения производственного персонала эффективному и безопасному управлению ТП.

В штатном режиме задача управления заключается в том, чтобы при действии на объект возмущающих воздействий и при соблюдении ограничений на значения параметров найти такие значения управляющих воздействий, которые обеспечивают поддержание межполюсного расстояния и концентрации глинозема в электролите в допустимом диапазоне.

Задачей управления в нештатных ситуациях является распознавание ситуации, определение и реализация таких значений управляющих воздействий, которые обеспечат выход объекта из режима нарушения регламентных границ значений технологических параметров и возвращение их в допустимый диапазон функционирования.

Задача обучения заключается в том, чтобы обучить производственный персонал приемам управления электролизером в различных режимах его функционирования для обеспечения заданной производительности и требуемого качества алюминия.

На основании формализованного описания разработано информационное обеспечение:

— БД административного и производственного персонала хранится сведения обо всех зарегистрированных пользователях с соответствующими правами доступа: администратор обеспечивает функционирование системы; эксперт занимается ведением и пополнением базы знаний; инструктор организывает процесс обучения; обучаемые являются основными пользователями системы.

— БД параметров процесса, в которой хранятся параметры ТП, системные параметры (время, дата) и дополнительные параметры интегрированной системы. При интеграции системы в АСУТП предприятия текущие значения параметров процесса поступают из производственной БД.

Реляционная БД процесса включает следующий набор атрибутов: текущее значение, единицы измерения, диапазон изменения, тип данных, сетевой адрес, комментарий. Она содержит: системные параметры (время, дата, счетчики и т. п.), параметры ТП и дополнительные параметры интегрированной системы [4].

База знаний (БЗ) по управлению в нештатных ситуациях разработана на основе экспертных знаний и данных по эксплуатации объекта и содержит сведения о типовых нештатных ситуациях, причинах их возникновения и рекомендациях по устранению. Классификация ситуаций в БЗ осуществляется сочетанием параметров БД, описывающих каждую ситуацию. БД и БЗ могут обновляться и дополняться по мере необходимости [5].

Знания экспертов в базе знаний формализованы с использованием продукционно-фреймовой модели представления знаний — фреймы используются для описания типовой нештатной ситуации, а с помощью продукционных правил осуществляется распознавание и вывод информации о нештатной ситуации.

Структура информационного обеспечения представлена на рис. 3.

При возникновении нештатной ситуации на экране появляется соответствующее сообщение,

Таблица 1. Коэффициенты разложения глинозема

Поставщики сырья	Диапазон значений коэффициента разложения глинозема
Ачинский глиноземный завод	1,92...1,95
Богословский глиноземный завод	1,96...1,98
Пикалевский глиноземный завод	1,93...1,95
Николаевский глиноземный завод	1,93...1,98
Уральский глиноземный завод	1,94...1,97

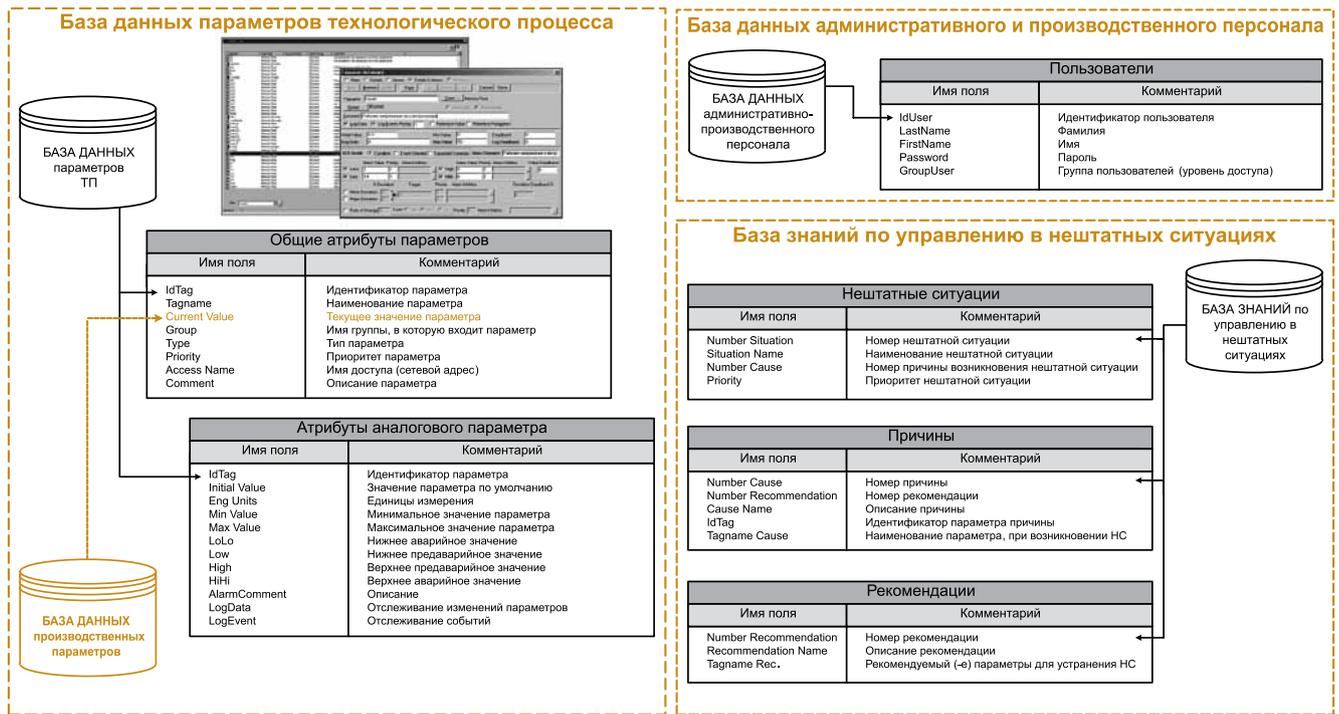


Рис. 3. Структура информационного обеспечения

содержащее информацию о нештатной ситуации, причине ее возникновения и рекомендации по устранению.

Математическое обеспечение

Параметры процесса связаны математической моделью (ММ). Задача синтеза ММ заключается в определении ее структуры и обеспечении допустимой точности путем настройки коэффициентов модели.

Математическое описание процесса представляет собой совокупность дифференциальных и алгебраических уравнений: тепловой модели электролизера для расчета тепловых затрат на реакции взаимодействия компонентов и нагрев сырья; материального и электрического балансов для расчета расхода сырья, производительности электролизера (электролизной серии), концентрации глинозема в электролите, значения межполюсного расстояния, затрат электроэнергии по статьям [3].

При разработке ММ процесса электролиза приняты следующие допущения:

- зависимость сопротивления R и обратной ЭДС E_0 от межполюсного расстояния l_{mpr} и температуры электролита $T_{electrolit}$ является линейной;
- концентрация глинозема $C_{Al_2O_3}$ в электролите одинакова по всему объему электролита;
- энергетическая модель электролизера как объекта управления является модель с сосредоточенными параметрами, поскольку в системах управления процессом электролиза отсутствуют распределенный контроль и распределенные управляющие воздействия;

— при составлении энергетического баланса учитывается, что тепло входных $\sum Q_{in}$ и выходных $\sum Q_{out}$ материальных потоков, а также тепло Пельтье Q_p химических реакций пренебрежимо малы по сравнению с расходуемой электроэнергией.

Уравнение материального баланса по растворенному глинозему для расчета концентрации глинозема в электролите:

$$m_{electrolit} \cdot \frac{dC_{Al_2O_3}}{dt} = \Delta G_{Al_2O_3} - k_{Al} \cdot G_{Al-t},$$

где $G_{Al-t} = k_{elchem} \cdot I \cdot \eta$ — расход образующегося алюминия.

Уравнение для расчета межполюсного расстояния:

$$\frac{dl_{mpr}}{dt} = v_{anode} - v_{Al},$$

где $v_{anode} = \frac{G_{anode}}{\rho_{anode} \cdot S_{anode}}$ — скорость сгорания анодов,

$v_{Al} = \frac{G_{Al-t}}{\rho_{Al} \cdot S_{electrolit}}$ — скорость изменения уровня алюминия.

Уравнение энергетического баланса для определения температуры электролита:

$$m_{electrolit} \cdot c_{electrolit} \cdot \frac{dT_{electrolit}}{dt} = I^2 \cdot R_{mpr} - \alpha_{electrolit} \cdot S_{electrolit} \cdot (T_{electrolit} - T_{smelt}) - k_{bottom} \cdot S_{bottom} \cdot (T_{electrolit} - T_0),$$

где $R_{mpr} = \frac{\rho_{electrolit} \cdot l_{mpr}}{S_{electrolit}}$ — сопротивление электролита.

В настоящее время отсутствуют промышленные способы непрерывных измерений переменных состояния электролизера, автоматическому контролю доступны напряжение на электролизере и ток, проходящий через него. Эти параметры связаны с переменными состояниями электролизера через его сопротивление и обратную ЭДС, из чего были получены явные зависимости напряжения электролизера от переменных состояния и записаны соответствующие уравнения для расчета электрических параметров:

$$U_{work} = I \cdot R + E_0;$$

$$R = R_{nom} + k_{R_i} \cdot (I_{mpr} - I_{mpr nom}) - k_{R_r} \cdot (T_{electrolit} - T_{electrolit nom}) + k_{R_c} (C_{Al_2O_3} - C_{Al_2O_3 nom}).$$

$$E_0 = E_{nom} - k_{E_r} \cdot (T_{electrolit} - T_{electrolit nom}) - k_{E_c} \cdot \ln \frac{C_{Al_2O_3}}{C_{Al_2O_3 nom}}.$$

Начальные условия для решения системы уравнений: $t_0 = 0$, $C_{Al_2O_3}(t_0) = C_{Al_2O_3 0}$; $T_{electrolit}(t_0) = T_{electrolit 0}$; $I_{mpr}(t_0) = I_{mpr 0}$; $t_0 \leq t \leq t_k$.

Совместное решение уравнений динамики позволяет получить информацию об изменении параметров ТП во времени.

Расход загружаемого в электролизер глинозема необходимо изменять для поддержания концентрации глинозема в электролите в допустимом диапазоне отклонения от номинального значения:

$$C_{Al_2O_3} = \begin{cases} \Delta G_{Al_2O_3 max}, & \text{если } \Delta C_{Al_2O_3} > \varepsilon_{C_{Al_2O_3}}, C_{Al_2O_3} < C_{Al_2O_3 min} \\ \Delta G_{Al_2O_3 min}, & \text{если } \Delta C_{Al_2O_3} > \varepsilon_{C_{Al_2O_3}}, C_{Al_2O_3} > C_{Al_2O_3 max} \end{cases}.$$

Положение анодов регулируется для поддержания межполюсного расстояния в допустимом диапазоне отклонения от номинального значения:

$$I_{mpr} = \begin{cases} \uparrow \Delta I_{anode}, & \text{если } \Delta I_{anode} > \varepsilon_{I_{mpr}}, \Delta I_{anode} > 0 \\ \downarrow \Delta I_{anode}, & \text{если } \Delta I_{anode} > \varepsilon_{I_{mpr}}, \Delta I_{anode} < 0 \end{cases}.$$

Результаты расчета ММ проверены по представленным в литературе экспериментальным данным для электролизеров с предварительно обожженными анодами (ОА) и с самообжигающимся анодом и верхним токоподводом (САВ). Адекватность математической модели подтверждена выполнением условия адекватности по критерию Фишера.

Задачи обучения и управления, решаемые на базе разработанной ММ:

— обучение управлению объектом с различными источниками сырья (при смене постав-

Управление представляет собой не что иное, как настраивание других людей на труд.

Ли Якокка

щика). Моделируется изменением коэффициента разложения глинозема в уравнении расчета концентрации глинозема в электролите (табл. 1) [6];

— обучение управлению различными типами электролизеров. Моделируется изменением коэффициентов, которые определяют тип и конструктивные особенности электролизера (табл. 2) [6];

— обучение управлению, связанное с изменением температуры окружающей среды. Моделируется изменением температуры в электролизном цехе в зависимости от региона.

Таким образом, разработанная ММ процесса получения алюминия позволяет определять влияние электрических параметров, характеристик сырья и управляющих воздействий на выходные показатели процесса; позволяет изучать причинно-следственные связи процесса при обучении операторов управлению процессом в различных режимах его функционирования, например, при различной производительности или при использовании различного сырья, что актуально в современных условиях.

Характеристика КТК для обучения персонала управлению процессами электрохимических производств

Для проведения обучения с помощью интегрированной системы разработаны АРМ обучаемого и инструктора. АРМ обучаемого подобен АРМ оператора. Динамическая мнемосхема процесса имеет набор вложенных окон, включает элементы управления, отображение информации в виде таблиц и графиков, окна материального и энергетического балансов, отображение нештатных ситуаций, журнал событий.

С помощью АРМ обучаемого (рис. 4) можно проводить самостоятельное или свободное обучение, в результате которого происходит формирование навыков контроля и управления ТП. Данный режим обучения основан на изучении причинно-следственных связей.

При возникновении нештатной ситуации на экране появится соответствующее сообщение с названием нештатной ситуации, причинами ее возникновения и рекомендациями по устранению.

Таблица 2. Параметры электролизеров

Тип электролизера	Сила тока, кА	k_{R_i} , Ом/м	k_{R_r} , Ом/°С	k_{R_c} , Ом	k_{E_r} , В/°С	k_{E_c} , В	η
С предварительно обожженными анодами	126	$5,88 \cdot 10^{-4}$	$1,93 \cdot 10^{-9}$	$7,88 \cdot 10^{-5}$	$1,20 \cdot 10^{-5}$	$1,50 \cdot 10^{-2}$	0,94
	157	$5,38 \cdot 10^{-4}$	$1,85 \cdot 10^{-10}$	$6,72 \cdot 10^{-5}$	$1,09 \cdot 10^{-5}$	$1,47 \cdot 10^{-2}$	0,96
	189	$6,73 \cdot 10^{-4}$	$1,79 \cdot 10^{-10}$	$6,22 \cdot 10^{-5}$	$1,33 \cdot 10^{-5}$	$1,49 \cdot 10^{-2}$	0,95
С самообжигающимся анодами	140	$5,29 \cdot 10^{-4}$	$1,69 \cdot 10^{-10}$	$6,56 \cdot 10^{-5}$	$1,12 \cdot 10^{-5}$	$1,56 \cdot 10^{-2}$	0,97
	276	$6,02 \cdot 10^{-4}$	$1,56 \cdot 10^{-10}$	$5,69 \cdot 10^{-5}$	$1,18 \cdot 10^{-5}$	$1,71 \cdot 10^{-2}$	0,95

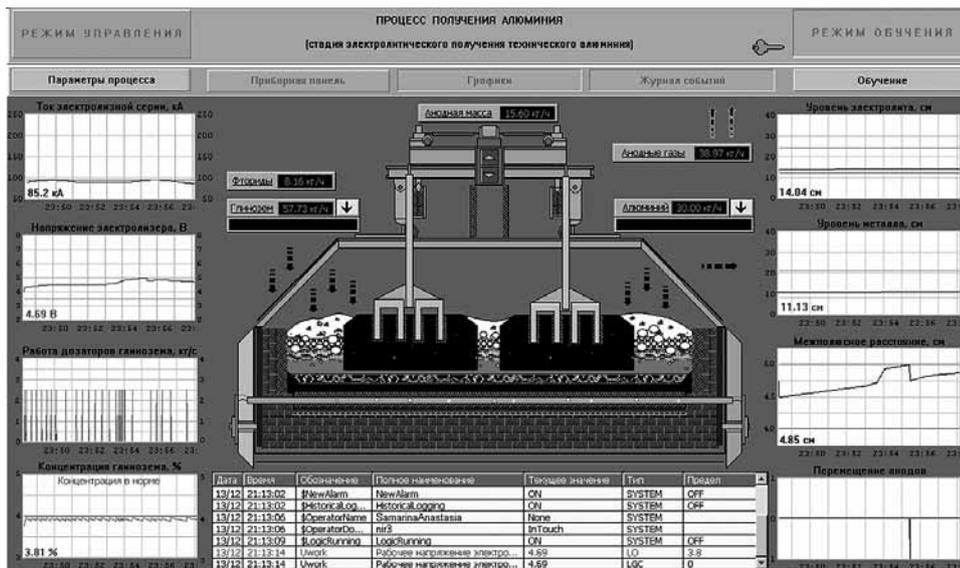


Рис. 4. АРМ обучаемого

Таблица 3. Нештатные ситуации

Нештатная ситуация	Описание нештатной ситуации	Причины ситуации	Рекомендации по устранению нештатной ситуации
«Горячий ход» электролизера	Повышенная температура электролита. Желтый цвет газов, выделяющихся из под анода. Слабая корка электролита. Редко наступающие анодные эффекты	Повышенное напряжение электролизера. Уменьшение количества алюминия	Опустить анод для снижения напряжения на электролизере.
«Холодный ход» электролизера	Снижение температуры электролита и утолщение корки. Ухудшение растворимости глинозема из-за низкого качества сырья	Высокий уровень алюминия в электролизере	Произвести выливку алюминия из электролизера. Поднять анод для увеличения межполюсного расстояния
«Отравление» ванны глиноземом	Осаждение глинозема на подину ванны из-за избыточной загрузки глинозема	Высокая концентрация глинозема в электролите	Уменьшить частоту загрузки глинозема в электролизер («голодание ванны»)

В табл. 3 приведены примеры нештатных ситуаций.

Формирование навыков управления на базе ранее приобретенных знаний осуществляется в режиме самостоятельного обучения по сценариям, которые обучаемый может запускать со своего рабочего места.

Сценарии позволяют вырабатывать навыки по управлению в производственных ситуациях. В режиме обучения по сценариям моделируются выбранные обучаемым ситуации, при этом время на устранение ситуации не регламентируется. При возникновении нештатной ситуации на экране появится сообщение о ситуации, причинах ее возникновения и рекомендации по устранению.

АРМ инструктора разработан для организации и проведения процесса обучения, контроля за действиями обучаемых и оценки их работы. Интерфейс инструктора содержит средства сигнализации и графического отображения информации, возможности наблюдения и анализа с удаленного компьютера

инструктора за действиями нескольких обучаемых и запись результатов в протокол обучения. Инструктор может формировать различные режимы обучения (запускать отдельные сценарии или экзаменационный режим обучения), вмешиваться в процесс обучения, задавая определенные значения параметров технологического процесса для моделирования различных ситуаций, а также давать соответствующие подсказки-рекомендации или отвечать на возникающие у обучаемых вопросы.

Для проверки знаний и навыков по управлению у обучающихся разработан экзаменационный режим обучения.

Настройка и запуск режима осуществляет инструктором, который формирует перечень сценариев обучения. Последние имитируют последовательность возникновения производственных ситуаций через заданные интервалы времени.

Дополнительно в интегрированной системе предусмотрено:

- обучение с помощью информационного справочника, в котором представлена информация о процессе, оборудовании, нештатных ситуациях и способах контроля и управления;
- изучение устройств различных электролизеров по трехмерным моделям, разработанным в среде для построения 3D моделей SolidWorks;
- тестирование знаний по отдельно выбранной теме или по всему материалу курса. Модуль тестирования знаний (рис. 5) использует специальную базу данных, состоящую из тестовых заданий и вариантов ответов, которая открыта для редактирования и пополнения.

Таким образом, обучение предполагает деление учебного курса на несколько этапов, которые позволяют обучаемым приобретать теоретические знания, а также формировать и совершенствовать навыки по управлению процессом. Результаты обучения, а также выявление степени усвоения теоретических знаний и практических навыков фиксируются в протоколе обучения.

Интеграция системы обучения подразумевает использование единого информационного пространства предприятия с возможностью использования производственных данных с реального объекта управления из БД [3].

В качестве инструмента для создания ПО тренажерного комплекса была выбрана SCADA-

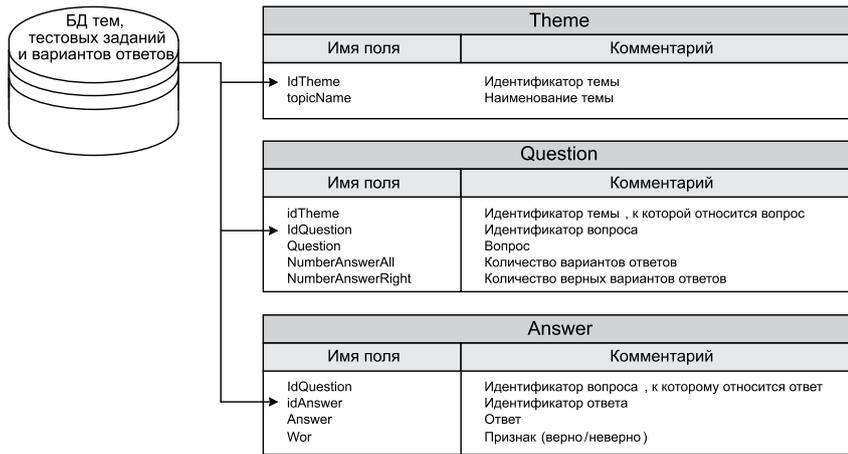


Рис. 5. Модуль тестирования знаний

система InTouch фирмы Wonderware. Преимущество InTouch перед другими SCADA-системами заключается в следующем: простота освоения и использования; доступность, наличие лицензии; функциональность; открытость; наличие объектно-ориентированной графики, широкого спектра анимационных функций; возможность использования шаблонов при создании объектов приложения; наличие библиотеки мастер-объектов и другие [5].

В статье представлен комплекс для стадии электролиза. Подобный комплекс разработан и для стадии рафинирования (которая используется реже и есть не на всех заводах).

Заключение

Предложена методика синтеза компьютерных тренажерных комплексов, включающих в себя базовую математическую модель и модуль настройки ПО на различные типы электролизеров, составы сырья и производительность, что позволяет проводить исследования и обучение персонала управлению процессом для получения алюминия требуемого качества при соблюдении регламентного режима.

Использование тренажерных комплексов позволяет проводить первичное обучение операторов, пополнять знания и приобретать необходимые навыки управления операторам, не имеющим большого опыта, а опытному персоналу повышать свою квалификацию.

Результаты тестирования представленных комплек-

сов подтвердили их работоспособность и возможность использования для обучения производственного персонала и приобретения навыков управления, что подтверждено соответствующим свидетельством об официальной регистрации программных продуктов и четырьмя актами о внедрении, в том числе на Волховский алюминиевый завод (ОАО «СУАЛ» филиал «ВАЗ-СУАЛ»). Комплексы прошли апробацию в учебном процессе и получили положительную экспертную оценку.

Экономический эффект от внедрения тренажерных комплексов ожидается за счет снижения финансовых и временных затрат на обучение персонала, поскольку обучаемый

будет приобретать навыки управления с помощью приближенных к промышленным интерфейсов оператора, а также за счет снижения количества совершаемых ошибок, снижения брака и аварийности.

Список литературы

1. Дозорцев В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов. М.: СИНТЕГ, 2009.
2. Ершова О.В., Лавров А.Б., Чистякова Т.Б. Технология разработки программного обеспечения тренажерных комплексов операторов электротермических производств // Автоматизация в промышленности. 2005. № 8.
3. Самарина А.М., Ершова О.В. Интегрированная система управления и обучения операторов электрохимического производства алюминия // Промышленные АСУ и контроллеры. 2011. № 4.
4. Самарина А.М., Ершова О.В. Архитектура программного обучающего комплекса для производственного персонала алюминиевой отрасли // Автоматизация в промышленности. 2008. № 7.
5. Ершова О.В. Компьютерные тренажерные комплексы для повышения эффективности управления процессами электротермического производства // Проблемы управления. 2010. № 3.
6. Фитерман М.Я., Берх В.И., Локиин Р.Г. Пути повышения эффективности производства и улучшения организации труда при автоматизации предприятий алюминиевой подотрасли // Цветная металлургия. 1989. №2.

Ершова Ольга Владимировна — канд. техн. наук, доцент,

Полякова (бывш. Самарина) Анастасия Михайловна — канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры «Системы автоматизированного проектирования и управления»,

Чистякова Тамара Балабековна — д-р техн. наук, проректор по инновациям, проф. кафедры «Системы автоматизированного проектирования и управления» Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета).

Контактный телефон (812) 494-93-70.

E-mail: erol@rambler.ru phonya@yandex.ru

Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

через каталоги "Роспечать" **81874** и "Пресса России" **39206** • сайт журнала <http://www.avtprom.ru> • Редакцию

Адрес редакции: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, офис 360 Тел.: (495) 334-91-30, (926)212-60-97 E-mail: info@avtprom.ru