

УДК 66.011:371.694

КОНЦЕПЦИЯ ТРЕНАЖЕРНОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

О.В. Нагайцева, Н.В. Ливенцова, С.Н. Ливенцов

Томский политехнический университет

E-mail: ola_ola81@mail.ru

Предложена концепция компьютерного тренажера оператора АСУ ТП электрохимического производства на примере производства фтора. Разработана и описана модульная структура имитационной модели производства, составляющая основу этого тренажера.

Ключевые слова:

Производство фтора, компьютерный тренажер, процесс электролитического получения фтора, имитационная модель, технологический процесс.

Key words:

Fluorine production, computer simulator, electrolytic fluorine process, simulation model, technological process.

Технологические процессы электрохимических производств в металлургической и атомной промышленности, кроме того, что относятся к категории наиболее опасных и вредных производств, отличаются значительным превышением требуемых затрат электроэнергии в случае некорректного управления либо незапланированных остановок производства по вине персонала. Овладение эффективными приемами управления и безопасной эксплуатации технологических процессов электрохимических производств возможно в результате многолетней наработки опыта при эксплуатации или, что наиболее безопасно и выгодно, с помощью специального компьютерного тренажера.

Тренажер позволит обучать, повышать и поддерживать необходимый уровень знаний и навыков оперативного персонала, непосредственно влияющего на ход технологического процесса, а также получать ценный опыт действия в аварийных и нештатных ситуациях без ущерба для производства и окружающей среды. Кроме того, использование тренажеров для обучения операторов потенциально опасных производств закреплено в РФ нормативными документами [1, 2]. Таким образом, разработка компьютерных тренажеров для электрохимических производств в металлургической и атомной промышленности актуальна.

Анализ опыта в области тренажеростроения и особенностей электрохимических производств [3–6] позволил представить обобщенную структуру тренажера для оператора электрохимического производства в виде схемы, рис. 1.

Структура включает: рабочее место оператора (РМО), рабочее место инструктора (РМИ), тренажерную модель производства (ТМП), базу данных тренажерной модели производства (БД ТМП), сценариев и технологического процесса (БД ТП), модуль редактирования базы данных, модуль сопряжения. Наличие модуля сопряжения необходимо в случае исполнения отдельных узлов тренажера на разных программных платформах.

Рабочее место оператора решает задачи визуализации и архивации данных моделируемого тех-

нологического процесса (ТП) производства. Для обеспечения подобия информационных полей обучаемого и оператора РМО предлагается исполнить в виде полного аналога программно-технических средств верхнего уровня действующей на производстве АСУ ТП (как правило, на этом уровне используют SCADA-систему).

Рабочее место инструктора – комплекс программно-технических средств, включающий модуль организации обучения, виртуальный инструктор и базу данных сценариев. Модуль организации обучения предназначен для формирования и реализации в режиме реального времени сценариев тренинга, алгоритмов обучения, тестирования и оценивания. Виртуальный инструктор – специализированная программа, обеспечивающая автоматический режим тренировки с использованием заранее заданного набора упражнений. Использование виртуального инструктора позволяет устранить необходимость участия специального подготовленного человека для выполнения функций инструктора и исключить невозможность проведения тренинга в его отсутствии.

Посредством модуля редактирования БД осуществляется запись и редактирование в базе данных ТМП, необходимой для моделирования информации об элементах системы управления и аппаратах технологической цепи производства.

Тренажерная модель производства включает модель системы управления (МСУ) и модель технологических процессов (МТП), которые предназначены для имитации работы элементов системы управления и технологических процессов, протекающих в основных аппаратах производства.

База данных технологического процесса предназначена для сбора данных о моделируемых технологических процессах в режиме обучения и экзамена, которая будет использоваться на этапах составления отчетов и анализа действий обучаемого оператора.

Модуль сопряжения необходим для обеспечения возможности обмена данными между компо-

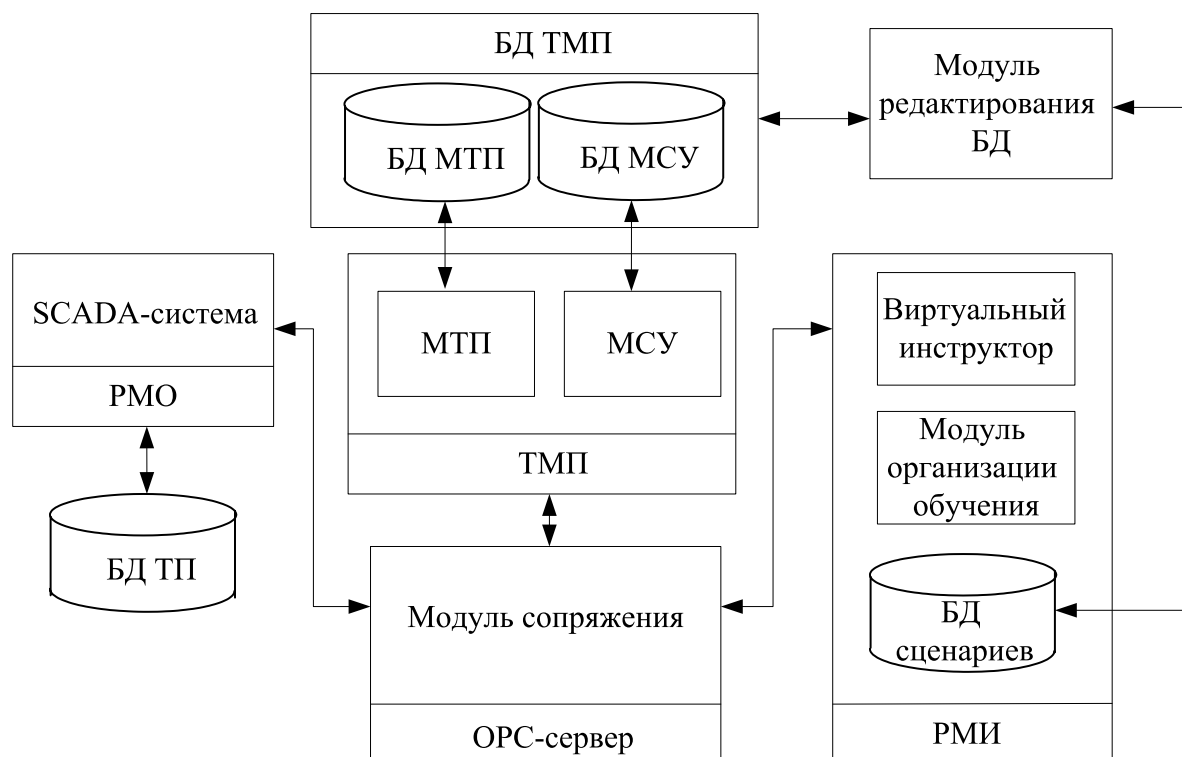


Рис. 1. Обобщенная структура тренажера для оператора электрохимического производства

нентами тренажера, которые, как правило, исполняются на разных программных платформах (например, как было отмечено выше, РМО исполняется на базе SCADA-системы, используемой в реальной АСУ ТП, ТМП – разрабатывается на языке программирования высокого уровня или при помощи специального пакета моделирования). Модуль сопряжения может быть выполнен в виде OPC-сервера. OPC (OLE for Process Control) – основной промышленный стандарт взаимодействия между программными компонентами сбора данных и управления, основанный на Component Object Model (COM) фирмы Microsoft. Данный стандарт поддерживается многими современными SCADA-системами, что при условии реализации РМО на базе используемой в АСУ ТП SCADA-системы позволяет обеспечить принцип полного замещения реального объекта управления его имитационной моделью.

При решении задачи создания тренажера наиболее сложной и важной является разработка тренажерной модели производства. На примере создания тренажера оператора производства технического фтора рассмотрим основные особенности разработки тренажерной модели электрохимического производства.

Технологическая схема производства фтора представляет собой группы однотипных электролизеров, объединенных в серии. В электрическую цепь серии электролизеры включены последовательно. При этом обеспечивается стабилизация тока на серии. Каждая серия снабжена системами по-

дачи охлаждающей воды (система охлаждения) и безводного фтористого водорода (система подпитки). Системы включают насосы, трубопроводы, клапаны. Охлаждающая вода подается насосом в общий коллектор и далее по отдельным трубопроводам к каждому аппарату. Аналогично подается и безводный фтористый водород, но побудителем в этой системе является испаритель. В зависимости от требуемой производительности и допустимой нагрузки на каждый электролизер число аппаратов в серии может быть различным. Каждый электролизер серии снабжен локальными контурами регулирования, основной задачей которых является стабилизация значений концентрации HF в электролите и температуры электролита на заданных уровнях.

На основе анализа принципов функционирования технологической схемы производства фтора была разработана структура тренажерной модели, рис. 2.

Тренажерная модель представляет собой два взаимосвязных модуля имитации технологических процессов и системы управления.

Модуль имитации технологических процессов

Модуль включает K имитационных моделей серий электролизеров, имеющих идентичную структуру. Модель серии содержит N моделей ТП отдельных электролизеров, взаимодействующих друг с другом через модели систем электропитания, охлаждения и подпитки серии. В силу однотипности используемого в сериях оборудования модели электролизеров, систем электропитания, охлажде-

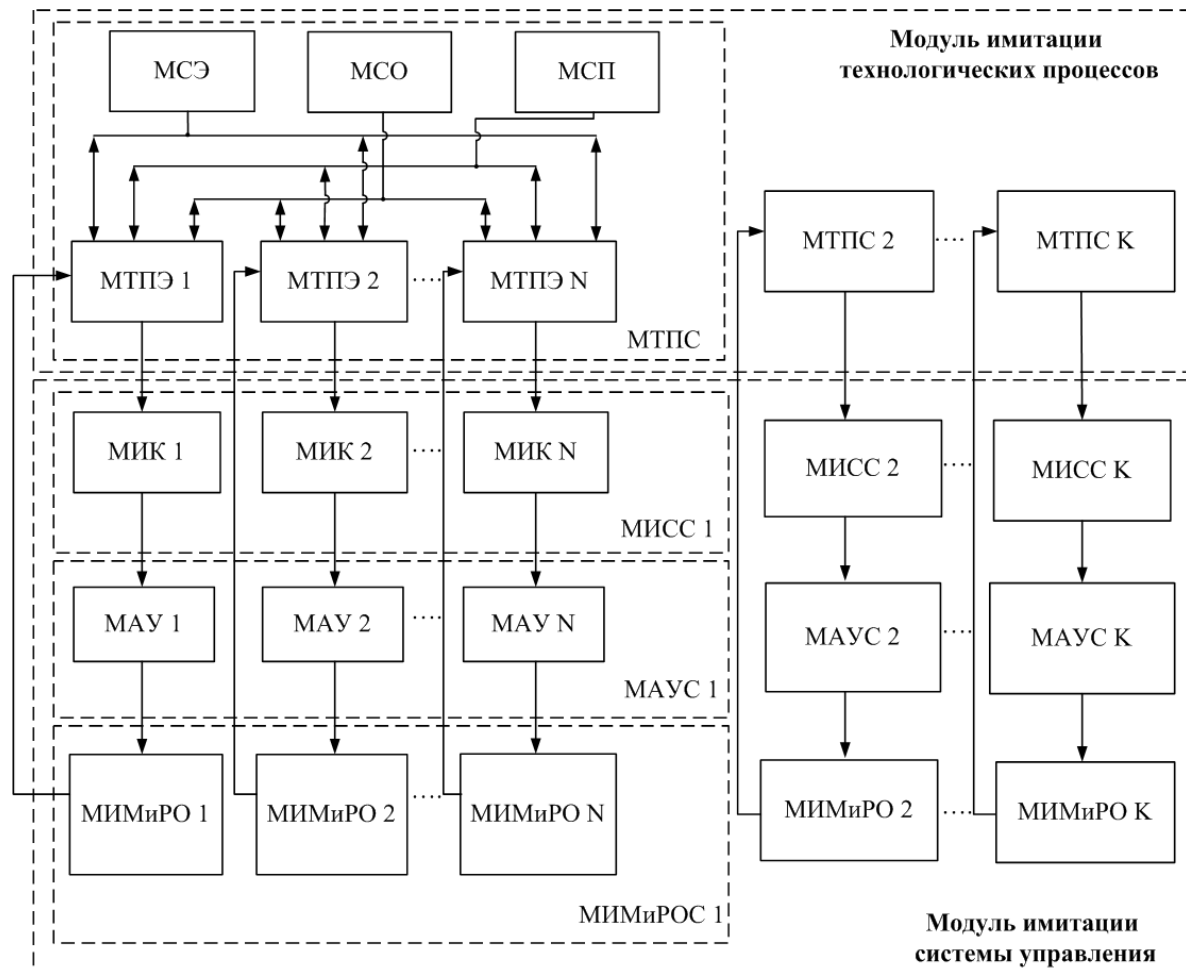


Рис. 2. Структура тренажерной модели производства фтора. Модели: МСЭ и МСО – системы электропитания и охлаждения; МТПЭ – технологического процесса электролизера; МИК – измерительных каналов; МАУ – алгоритмов управления; МИМиРО – исполнительных механизмов и регулирующих органов; МТПС и МИСС – технологических процессов и измерительной системы серии; МАУС и МИМиРОС – алгоритмов управления и исполнительных механизмов и регулирующих органов серии. N – число электролизеров в серии; K – число серий

ния и подпитки в серии идентичны по структуре, но отличаются значениями параметров, которые учитывают особенности работы моделируемых элементов оборудования, приобретаемых ими в процессе эксплуатации. Рассмотрим каждую из них в отдельности.

На рассматриваемом производстве эксплуатируются среднетемпературные электролизеры (СТЭ-20). В качестве электролита используется раствор трифторида калия $KF \cdot 2HF$. Выделение тепла при электролизе отводится с помощью охлаждающей воды, которая подается в трубчатый теплообменник, распределенный между катодными ячейками внутри аппарата. Анализ теоретических основ электролиза и опыта эксплуатации аппаратов [7, 8] позволил выявить основные переменные, характеризующие процесс, и составить структурную схему модели технологического процесса в аппарате СТЭ-20, рис. 3.

На рис. 3 приняты следующие обозначения: G_{HF} – расход HF (управляющее воздействие); I – сила электрического тока через электролит, задает-

ся в зависимости от необходимой производительности (измеряемое возмущающее воздействие); P_A и P_K – давление анодного и катодного газов (измеряемая выходная переменная); T_e – температура электролита (управляемая переменная); T_{HF} – температура HF на входе в электролизер (не измеряемое возмущающее воздействие); G_V – расход охлаждающей воды (управляющее воздействие); T_V^{in} – температура охлаждающей воды на входе трубчатого теплообменника (измеряемое возмущающее воздействие); T_V^{out} – температура охлаждающей воды на выходе трубчатого теплообменника (измеряемая выходная переменная); L – уровень электролита в электролизере (управляемая переменная); C_{HF} – концентрация HF в электролите (управляемая переменная); U – общее падение напряжения на электролизере (измеряемая выходная переменная); G_{F_2} и G_{H_2} – расход анодного газа и водорода на выходе электролизера (не измеряемая переменная).

Модель ТП СТЭ-20 состоит из динамических математических моделей электрохимических и те-

пловых процессов, которые разрабатывались на основе теоретических и экспериментальных исследований. Модель электрохимических процессов построена на основе законов сохранения количества вещества, Фарадея, Ома для проводников 1-го и 2-го рода, зависимости скоростей электрохимических реакций от концентрации реагентов и температуры. Модель тепловых процессов построена на основе закона Джоуля, уравнения теплового баланса, теплообмена и химической термодинамики с использованием теории подобия.

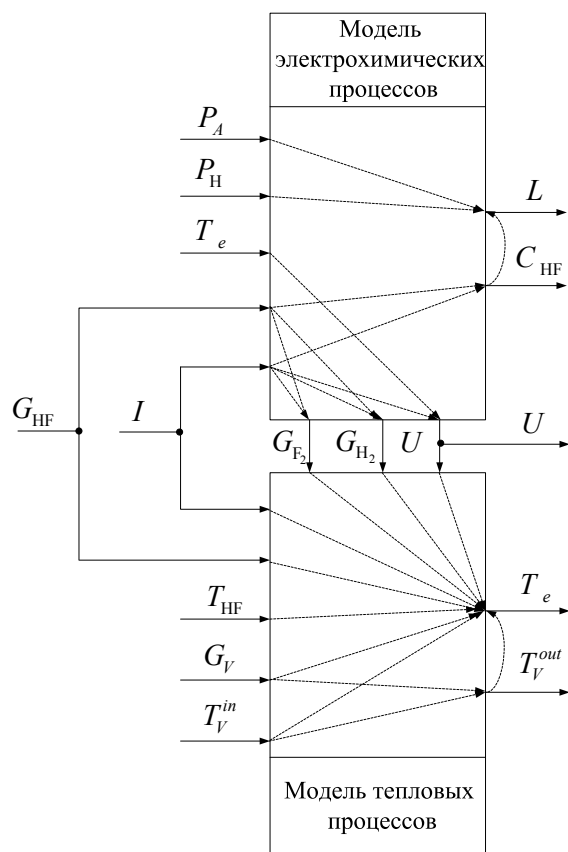


Рис. 3. Структурная схема технологического процесса в аппарате СТЭ-20

Модели систем охлаждения и подпитки включают имитационные модели потока распределения охлаждающей воды и безводного фтористого водорода по системе трубопроводов, насосов и запорной арматуры.

Модель системы электропитания построена с использованием эквивалентной электрической схемы цепей нагрузки и утечек аппаратов серии.

Модуль имитации системы управления

Модуль включает: имитационные модели контрольно-измерительных систем алгоритмов управления, исполнительных механизмов и регулирующих органов серий. Модели имеют идентичную структуру и состоят из моделей измерительных каналов, алгоритмов управления, исполнительных механизмов и регулирующих органов, содержащихся в АСУ ТП отдельными электролизерами. Все перечисленные модели представляются в виде систем дифференциальных и алгебраических уравнений с применением численных методов для их решения.

Предложенная структура тренажерной модели разработана с учетом возможности имитации основных ситуаций, возникающих в различных элементах технологической цепи производства и системы управления в условиях реальной эксплуатации. Это предоставит возможность разработать модель обучения, охватывающую наиболее широкий спектр профессиональных вопросов для цели качественной подготовки оперативного персонала.

Заключение

1. Предложена концепция построения структуры компьютерного тренажера оператора АСУ ТП производства технического фтора с указанием назначения каждого из блоков.
2. Разработана и описана структура имитационной модели производства. Модель представляет собой систему взаимодействующих модулей имитации технологических процессов, элементов трубопроводов подачи и отвода основных компонентов, исполнительных механизмов и регулирующих органов, контрольно-измерительного оборудования, алгоритмов управления.
3. Проводится разработка модулей тренажерной модели. Модули реализуются в виде DLL-библиотек с применением объектно-ориентированной технологии на языке C++. Данная технология позволяет единообразно и гибко управлять разнородными по структуре объектами программирования, которыми являются модули имитационной модели производства фтора.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. в рамках реализации мероприятия 1.2.2. НИР НК-110П «Физическая химия. Электрохимия. Физические методы исследования химических соединений».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российская Федерация. Законы. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федер. закон: [принят Гос. Думой 20 июня 1997 г.: одобрен Советом Федерации 21 июля 1997 г. (с изменениями на 30 декабря 2008)].
2. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств: ПБ 09-540-03: утв. Ростехнадзором России 05.05.2003 – СПб.: ДЕАН, 2003. – 112 с.
3. Дозорцев В.М., Кнеллер Д.В. Типовой компьютерный тренажерный комплекс для обучения операторов ТП // Автоматизация в промышленности. – 2003. – № 2. – С. 9–4.
4. Дозорцев В. М., Кнеллер Д.В. Технологические компьютерные тренажеры: все, что вы всегда хотели знать // Промышленные контроллеры и АСУ. – 2004. – № 12. – С. 1–13.
5. Дозорцев В.М. Современные компьютерные тренажеры для обучения операторов ТП: состояние и направления ближайшего развития // Автоматизация в промышленности. – 2007. – № 7. – С. 30–36.
6. Куник Е.Г., Коваленко А.Н., Лишенко С.А. Архитектура компьютерного тренажера для обучения операторов АСУ ТП // Радиозлектроника. Информатика. Управление. – 2009. – № 1. – С. 128–131.
7. Галкин Н.П., Крутиков А.Б. Технология фтора. – М.: Атомиздат, 1968. – 188 с.
8. Делимарский Ю.Д. Теоретические основы электролиза ионных расплавов. – М.: Металлургия, 1985. – 234 с.

Поступила 18.09.2009 г.

УДК 004.023

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А.В. Сучков, В.Г. Лисиенко

Уральский государственный технический университет – УПИ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

E-mail: A_suchkov@list.ru

Проанализированы подходы к построению системы поддержки принятия решений для доменного производства. Предложен алгоритм нахождения управляющих воздействий, для достижения требуемых выходных параметров с помощью балансовой модели печи. Предложены наборы входных и выходных параметров системы поддержки принятия решений, способ получения результатов (рекомендаций) и приведение их множества к удобному для пользователя виду.

Ключевые слова:

Система поддержки принятия решений, доменная печь, математическая модель, эвристический алгоритм, программа-советчик, метод полного перебора.

Key words:

Decision support system, blast furnace, mathematical model, heuristic algorithm, program-adviser, method of full search.

Система поддержки принятия решений (СППР) предназначена для получения такого набора значений управляющих воздействий доменного процесса, который позволяет получить желаемое состояние заданного множества выходных показателей. Для этого целесообразно использовать математические модели доменного процесса. Сложность заключается в том, что обычно входы модели соответствуют выходам СППР. Поэтому для определения управляющих воздействий возникает необходимость многократно использовать модель доменного производства с учетом ограничений на его параметры для получения экстремального значения целевой функции. В общем случае может быть несколько заметно отличающихся друг от друга решений и желательно, чтобы все они были найдены. В советчике (СППР) должен присутствовать базовый вариант, сочетающий входные и выходные параметры печи, принятые в качестве нормы в данный момент для данного производства. Соответственно, поиск решений необходим, когда по какой-то причине базовый вариант поддерживать невозможно или его нужно изменить.

Для реализации данного подхода предлагается соответствующая процедура, которая предусматривает выполнение ряда этапов.

1. Выбор модели доменного процесса, ее программная реализация (если отсутствует) и модификация (при необходимости).
2. Формирование целевого критерия модели управления.
3. Определение выходных переменных модели управления, их желаемых значений, допустимых погрешностей.
4. Определение набора управляющих воздействий для данной ситуации и пределов их варьирования.
5. Выбор шага изменения значений для каждого из управляющих воздействий.
6. Нахождение подходящих наборов значений управляющих воздействий.
7. Сокращение найденного на этапе 6 множества решений.
8. Формирование рекомендаций, в случае, если на этапе 6 не найдены решения.