

В объединенный диссертационный совет Д 212.102.01
на базе федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева»

650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел./факс: (384-2) 68-23-23, e-mail:
haa.omit@kuzstu.ru.

ОТЗЫВ

официального оппонента Глазырина Александра Савельевича
на диссертацию Зайцевой Натальи Михайловны
**«РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ НЕПРЕРЫВНЫХ ЭНЕРГОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ НА
ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА»,**
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Диссертационная работа Натальи Михайловны Зайцевой состоит из введения, семи глав, заключения, списка использованных источников из 201 наименований. Диссертация изложена на 346 страницах машинописного текста, содержит 95 рисунков, 27 таблиц, 4 приложения.

1. Актуальность темы исследования

Вопросы повышения энергоэффективности и ресурсосбережения являются особенно актуальными для энергоемких производств с высокой долей затрат на топливо и энергию в издержках производства, например в электрометаллургии, машиностроении, нефтепереработке, нефтехимии и прочих. Известные и хорошо зарекомендовавшие себя подходы к прогнозированию энергопотребления, основанные на статистике и хорошо работающие для линейных дискретных производств, малопригодны для ряда предприятий цветной металлургии и химической промышленности из-за отсутствия прямой пропорциональности между электропотреблением и объемом производимой продукции. А ввиду того, что рассматриваемый тип производства является энергоемким, любое изменение его технологического режима может повлечь за собой серьезные последствия, как для самого предприятия, так и для энергосистемы, в которой это производство функционирует.

Альтернативным подходом при математическом моделировании электротехнических комплексов, обладающих свойствами нестационарности, нелинейности и дискретности является применение методов искусственного интеллекта. В этой связи тема диссертационной работы Натальи Михайловны Зайцевой, посвященная проблеме развития теории моделирования электротехнических комплексов непрерывных энергоемких производств на основе методов искусственного интеллекта, несомненно, актуальна.

2. Оценка проведенного исследования и полученных результатов

В первой главе выделены актуальные проблемы и произведен анализ существующих моделей электротехнических комплексов непрерывных энергоемких производств и методов их решения, выполнена постановка задачи диссертационной работы. За типовое непрерывное энергоемкое производство взято гидрохимическое производство глинозема (электролитического сырья алюминия). Из множества проблем управления предприятием рассматриваемого типа, выбраны ряд нерешенных до настоящего времени проблем, касающихся электротехнического комплекса. Первая проблема – прогнозирование объема электропотребления (мощности) при составлении договоров на покупку электроэнергии и прогнозирование электропотребления электротехнического комплекса электрооборудования с почасовой детализацией (требуемой при составлении договоров на поставку электроэнергии) при переходе на иные технологические режимы производства, которые часто возникают в настоящий момент при смене поставщиков сырья или изменении объема выпуска основного продукта. Вторая – поиск энергоэффективного режима работы рассматриваемого типа производства при существующем уровне цен на энергоресурсы и сырье без повышения себестоимости готовой продукции. При переходе на иные энергоэффективные режимы на предприятиях данного типа могут возникать аварии электрооборудования и аварии техногенного характера в связи с резкими увеличениями объемов материальных потоков, что требует решения третьей проблемы: повышение эффективности функционирования и электробезопасности электротехнического комплекса электрооборудования. Эти проблемы объединяются системным подходом решения задачи повышения эффективности, качества функционирования и безопасности электротехнических комплексов рассматриваемого класса производств.

Вторая глава посвящена решению задачи разработки моделей электропотребления электротехнического комплекса электрооборудования рассматриваемого класса производств: статического и динамического характера.

Для решения задачи энергопотребления электротехнического комплекса электрооборудования глиноземного производства в стационарном режиме была разработана статическая модель, которая в силу особенностей данного производства разрабатывалась на основе укрупненной детерминированной модели, имитирующей основные его технологические преобразования и определяющая объемы материальных потоков в зависимости от концентрационных технологических режимов. Отмечено, что величина K_d описывается очень сложной зависимостью от температуры, концентрации реагента и наличия катализаторов. Помимо того, точные значения этих параметров в реакторах, где происходит преобразование веществ, определить невозможно. Для упрощения вычислений данная скорость K_d была

представлена нечеткой величиной, определяемой с помощью теории нечетких множеств.

Ввиду особенностей рассматриваемого типа производства при переходе на другие технологические режимы может произойти резкое увеличение или уменьшение электропотребления ввиду изменения объемов потоков вещества. Поэтому автором была разработана динамическая модель электропотребления. На основе полученных динамических характеристик изменения электропотребления электротехнического комплекса электрооборудования глиноземного производства позволил сделать следующие выводы: а) в целом полученные результаты соответствуют данным, полученным опытным путем, б) средняя длительность переходного процесса в кольце – 5 суток. Сделан вывод, что для рассматриваемого класса непрерывных инерционных производств задача выравнивания графика нагрузки энергосистемы может решаться только для случая перехода на иной технологический режим.

Третья глава посвящена разработке оптимизационной модели управления непрерывным производством при изменяющейся конъюнктуре цен на энергоносители и сырье, позволяющей повысить его энергоэффективность. Поиск энергоэффективного режима работы производства необходимо было построить по 4-м управляемым параметрам технологического процесса производства. Для решения задачи оптимизации был выбран один из методов искусственного интеллекта – классический генетический алгоритм, причем кодирование элементов популяции выполнялось в двоичном коде для всей области допустимых значений по 4-м управляемым параметрам, а создание 4-х начальных популяций хромосом – с помощью случайного выбора из всей области решений рассматриваемой задачи. Результатом работы настроенной модели являются оптимальные, с точки зрения энергоэффективности, значения режимных параметров и объемов потоков веществ технологических переделов производства, на основании которых формируются управляющие воздействия на электротехнологическое оборудование. Настроенная модель выдает значения режимных параметров производства при текущих или планируемых ценах на энергию и сырье, а при этих параметрах достигается минимальное энергопотребление данного производства.

Четвертая глава посвящена экспериментальной разработке моделей удельного электрического сопротивлений грунта для расчетов заземлений, обеспечивающих эффективную и безопасную эксплуатацию электротехнических комплексов. Для решения поставленных задач было разработано три лабораторных установки, одна из которых запатентована. Эксперименты проводились для различного вида грунтов с изменением их влажности, температуры, засоленности и уплотненности. В качестве основного математического аппарата моделирования удельного сопротивления грунта был использован аппарат нечеткой логики. Полученная модель может быть применена для определения удельного электрического сопротивления любого типа грунта от влажности и температуры с достаточной для практики точностью. Для такого подтверждения был проведен сопоставительный анализ

значений ρ , полученных с помощью разработанных моделей, с экспериментальными данными и справочниками, дополнительная проверка по критерию Фишера также показывает, что модели адекватны.

Пятая глава посвящена разработке климатической модели грунта для безопасной эксплуатации электротехнических комплексов рассматриваемого класса производств в виду возможных аварий электрооборудования в совокупности с техногенными авариями, наблюдаемыми в гидрохимических производствах в виде перелива растворов из реакторов, и природных явлений.

Для построения климатической модели грунта был выполнен анализ годового хода температуры на поверхности земли и для различных глубин по разным районам СНГ. Данные были получены от метеостанций г.Павлодара и г.Новосибирска и взяты из литературы. При построении модели удельного сопротивления грунта в реальных условиях необходимо включить определение v влажности его слоев в данном конкретном месте в определенный период времени. Моделирование зависимости v по глубине до 1м было выполнено с помощью нечеткой логики. Нечетко определялся интервал значения «глубина». Для построения модели определения влажности в любое время года на глубине до 1м была введена лингвистическая переменная «месяц» с двумя термами «холодный» и «теплый». На основе разработанной модели было проанализировано изменение потенциала на поверхности земли в случае замыкания фазы на землю в период активного снеготаяния и при обычном увлажнении.

В шестой главе выполнен расчет экономического обоснования предлагаемых моделей для электротехнических комплексов рассматриваемого типа производств. Были рассмотрены экономические эффекты от внедрения модели прогнозирования энергопотребления, от применения модели оперативного оптимального управления, от внедрения методики определения ρ . Приведённые в шестой главе экономические расчёты убедительно показывают наличие практическая значимость рассматриваемой диссертационной работы.

3. Соответствие диссертационной работы паспорту специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Тема и содержание диссертационной работы отвечают паспорту специальности 05.09.03 по следующим пунктам:

п.1 – Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем;

п.2 – Обоснование совокупности технических, технологических, экономических, экологических и социальных критериев оценки принимаемых решений в области проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов и систем;

п.4 – Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях;

п.5. – Разработка безопасной и эффективной эксплуатации, утилизации и ликвидации электротехнических комплексов и систем после выработки ими положенного ресурса.

4. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации

По каждому из шести научных положений, выносимых на защиту, соискателем были проведены глубокие исследования и получены обоснованные решения.

4.1. Соискателем разработана базовая детерминированная статическая модель электротехнического комплекса электрооборудования непрерывного энергоемкого производства рассматриваемого типа с использованием методов искусственного интеллекта, позволяющая прогнозировать его электропотребление без использования длинных временных рядов ретроспективных данных. Исследования, проведенные на этой модели, позволили получить зависимости всех выходных параметров производства от входных и построить критерий идентификации модели.

4.2. Второе научное положение об использовании динамической модели электротехнического комплекса энергоемкого производства рассматриваемого типа, построенной на основе базовой детерминированной модели, позволяет выполнять прогноз почасового электропотребления его ЭТК. Исследования, проведенные на данной модели, выявили параметры производства, резкое изменение которых может приводить к значительным увеличениям или уменьшениям энергопотребления, что может приводить к штрафным тарифам при оплате за энергию.

4.3. Базовая детерминированная модель производства рассматриваемого типа позволяет решить оптимизационную многопараметрическую задачу поиска энергоэффективного режима его функционирования, так как с ее помощью рассчитывается энергопотребление ЭТК при любом технологическом режиме, но решение данной задачи значительно усложняется отсутствием аналитического вида целевой функции.

4.4. Исследования, проведенные автором, показали, что применение генетического алгоритма значительно упрощает решение поставленной оптимизационной задачи, так как генетический алгоритм работает не с параметрами модели, а их отображением в виде двоичных кодов.

4.5. Модели определения удельного электрического сопротивления ρ грунта для расчета параметров заземлений, построенные на основе методов нечеткой логики, позволяют повысить эффективность функционирования энергоемкого предприятия, так как с их помощью более точно рассчитываются заземляющие устройства, а также напряжение прикосновения и шага в зависимости от климатических условий.

4.6. Предлагаемые автором эмпирические зависимости удельного сопротивления грунта ρ от его плотности позволяют рассчитать динамику изменения ρ и определить меры по его уменьшению после ввода в эксплуатацию заземляющих устройств.

4.7. Предлагаемые автором алгоритмы и программы позволяют реализовать разработанные модели, что значительно упрощает применение этих моделей.

5. Научная новизна работы

К элементам научной новизны в настоящей работе относятся:

1. Предложена новая концепция построения моделей электротехнических комплексов с непрерывным энергоемким производством, относящихся в основном к цветной металлургии и химической промышленности, отличающаяся адаптивностью моделирования и оптимизацией протекающих в них процессов на основе методов искусственного интеллекта.

2. Разработаны статическая и динамическая модели энергопотребления электротехнических комплексов с непрерывным инерционным нелинейным замкнутым производством, отличающиеся отсутствием необходимости использования длинных временных рядов ретроспективных данных.

3. Для рассматриваемого типа непрерывного энергоемкого производства получены динамические характеристики энергопотребления и технологических процессов от основных управляемых параметров, что позволяет предсказывать аварийные ситуации и отчасти техногенные катастрофы.

4. На основе генетического алгоритма решена многопараметрическая оптимизационная задача управления энергопотреблением непрерывного производства с учетом технологических параметров и стоимостных факторов.

5. На основе теории нечетких множеств разработаны математическая и физическая модели удельного электрического сопротивления грунта в зависимости от климатических параметров и глубины залегания, позволяющие повысить эффективность работы оборудования электротехнических комплексов и безопасность их обслуживания.

6. На основе экспериментов разработаны эмпирические зависимости удельного электрического сопротивления ρ грунта от его плотности, позволяющие определить комплекс мер по улучшению электропроводности после ввода в эксплуатацию устройств заземления. Запатентована научно-испытательная лабораторная установка для определения удельного электрического сопротивления грунта от его плотности.

7. Разработаны оригинальные программы, реализующие предлагаемые модели и алгоритмы искусственного интеллекта, позволяющие повысить энергоэффективность функционирования производства рассматриваемого типа и электробезопасность обслуживания его электротехнического комплекса.

6. Теоретическая значимость полученных результатов

1. Концептуальные положения комплексного подхода к синтезу детерминированного и стохастического моделирования могут быть использованы для решения нелинейных задач при управлении сложными технико-экономическими системами.

2. Детерминированное моделирование с применением методов искусственного интеллекта дает возможность получить новые знания о динамических характеристиках нелинейного инерционного объекта, каким является рассматриваемый тип производства, не допускающего проведения прямых экспериментов на нем.

3. Разработанная методология синтеза многокритериальной оптимизационной задачи на основе детерминированной модели технологического цикла рассматриваемого как объект управления производства и генетического алгоритма позволяет найти наилучшие значения управляемых параметров объекта, обеспечивающих минимум потребления ресурсов при установленных ограничениях.

4. Разработанные на основе теории нечетких множеств зависимости удельного электрического сопротивления слоев грунта позволяют получить новые знания об изменениях этого сопротивления под воздействием климатических факторов в любое время года для широт без вечной мерзлоты.

5. Установленная аналитическая зависимость удельного электрического сопротивления от плотности грунта позволяет получить новые знания об изменениях этого сопротивления и определить комплекс мер после запуска устройств заземления в эксплуатацию.

7. Практическая значимость и реализация разработок

1. Разработанная методология моделирования компонентов электротехнических комплексов с непрерывным энергоемким производством с учетом системного видения позволяет осуществить ресурсо- и энергосбережение, повышая тем самым энергоэффективность производств.

2. Разработанные модели более точного расчета заземляющих устройств, напряжения прикосновения и шагового напряжения позволяют снизить стоимость заземляющих устройств и повысить безопасность обслуживания электротехнических комплексов.

3. Предложенная на основе генетического алгоритма оптимизационная модель управления непрерывным производством позволяет оперативно выбрать энергоэффективный технологический режим, в зависимости от существующих цен на энергоресурсы и сырье.

4. Созданные алгоритмы и программы существенно снижают трудоемкость решения задач по повышению качества функционирования, энергоэффективности и технологической безопасности эксплуатации электротехнических комплексов.

5. Результаты работы внедрены: на Павлодарском алюминиевом заводе (Казахстан), в Новосибирской проектной организации ООО «Проект – 08» (Россия), в учебном процессе Новосибирского государственного технического университета, Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова (г. Павлодар, Казахстан), Инновационного Евразийского университета (г. Павлодар, Казахстан).

Акты об использовании и внедрении результатов диссертационной работы приведены в приложениях диссертации.

7. Замечания по диссертации

Рецензируемая работа не свободна от отдельных недостатков, в частности:

1. При разработке статической модели, описанной во второй главе, полезно было бы показать достоинства и недостатки похода, предложенного соискателем, по сравнению с классическими подходами. Так описанную задачу можно было решить, например, на основе математической теории планирования эксперимента, а для определения коэффициента скорости реакции K_d вместо аппарата нечёткой логики можно было применить функцию желательности Харрингтона.
2. Во второй главе приводится разработанная соискателем динамическая модель прогнозирования электропотребления ЭТК рассматриваемого типа производства, которая позволила получить переходные характеристики всех выходных параметров при скачкообразном изменении параметров внешнего воздействия и регулируемых параметров. Очевидно, что, как и все модели, она имеет погрешность при описании динамики процессов в исследуемой системе. Однако в работе нет сведений о такой погрешности.
3. В третьей главе описано применение генетического алгоритма для решения многопараметрической оптимизационной задачи поиска энергоэффективного режима производства. Однако в диссертации отсутствуют сведения о максимальном количестве узлов поискового пространства, не описан критерий останова метаэвристического поиска решения задачи глобальной оптимизации, не проведена оценка евклидова расстояния для итоговых 4-5 лучших решений в многомерном поисковом пространстве в сравнении с принятым шагом поиска.
4. В шестой главе приведено экономическое обоснование разработанных моделей для электротехнических комплексов непрерывных энергоемких производств. Но из анализа материала не ясно, какие автор предлагает пути дальнейших исследований.

Общий вывод

Указанные замечания не снижают ценность работы, тем более что основные ее результаты имеют серьезную научную и практическую значимость, новы и неоспоримы. В целом работа выполнена на высоком

научном уровне и представляет собой самостоятельное законченное исследование, в котором содержится решение научной проблемы, связанной с развитием теории моделирования электротехнических комплексов непрерывных энергоемких производств на основе методов искусственного интеллекта.

Предложенные автором новые научно обоснованные теоретические решения значительны для непрерывных энергоемких производств, оказывающих существенное влияние на экономики таких стран Евразийского экономического союза как Россия и Казахстан.

Новизна исследования очевидна и подтверждается внушительным количеством публикаций по диссертации. Работа написана хорошим литературным языком, логически структурирована.

Автореферат диссертации и публикации в полной мере отражают содержание диссертационной работы.

Работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертационным работам, а ее автор, Зайцева Наталья Михайловна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,
докт. техн. наук (05.09.03), доцент
профессор отделения электроэнергетики и электротехники
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет»
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
эл. почта: asglazyrin@tpu.ru

+7 (3822) 606291; +7 (3822) 701777 Вн.т. 2054

Подпись Глазырина Александра Савельевича заверяю

А.С. Глазырин

Учёный секретарь ТПУ



Е.А. Кулинich