

УДК 62-83::621.313.3

ГРНТИ 45.41.31 50.43.00 52.13.29

Инв. №

УТВЕРЖДЕНО:

Исполнитель:

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Кузбасский
государственный технический университет
имени Т.Ф.Горбачева»

От имени Руководителя организации

_____ / Е. К. Ещин /
М.П.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

о выполнении 1 этапа Государственного контракта
№ 14.740.11.1105 от 24 мая 2011 г.

Исполнитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева»

Программа (мероприятие): Федеральная целевая программа «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., в рамках реализации мероприятия № 1.2.2 Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук.

Проект: Разработка энергоэффективных средств управления электроприводами горных машин с учетом особенностей динамических режимов их работы в рамках создания энергосберегающих систем распределения и потребления электроэнергии

Руководитель проекта:

_____ /Семькина Ирина Юрьевна
(подпись)

Кемерово
2011 г.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ
по Государственному контракту 14.740.11.1105 от 24 мая 2011 на выполнение
поисковых научно-исследовательских работ для государственных нужд

Организация-Исполнитель: государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет»

Руководитель темы:

доцент кафедры «Электро-
привод и автоматизация»,
кандидат технических наук

_____ Семькина И. Ю.
подпись, дата

Исполнители темы:

аспирант кафедры «Электро-
привод и автоматизация»

_____ Ложкин И. Ю.
подпись, дата

студент группы ЭА-061

_____ Нехлебова С. Г.
подпись, дата

студент группы ЭА-071

_____ Киселев А. В.
подпись, дата

студент группы ЭА-082

_____ Евстратов А. Э.
подпись, дата

Реферат

Отчет 84 с., 2 ч., 0 рис., 0 табл., 247 источн., 2 прил.

Ключевые слова: горные машины, асинхронный электродвигатель, регулируемый электропривод, энергоэффективность.

В отчете представлены результаты исследований, выполненных по 1 этапу Государственного контракта № 14.740.11.1105 "Разработка энергоэффективных средств управления электроприводами горных машин с учетом особенностей динамических режимов их работы в рамках создания энергосберегающих систем распределения и потребления электроэнергии" (шифр "2011-1.2.2-226-011") от 24 мая 2011 по направлению "Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук в следующих областях:- атомная энергетика, ядерный топливный цикл, безопасное обращение с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом;- водородная энергетика; - новые и возобновляемые источники энергии; - производства топлив и энергии из органического сырья; - создание энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии; - создание энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных средств" в рамках мероприятия 1.2.2 "Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук.", мероприятия 1.2 "Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук и кандидатов наук" , направления 1 "Стимулирование закрепления молодежи в сфере науки, образования и высоких технологий." федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

Цель работы - выполнить анализ существующих средств повышения энергоэффективности асинхронных электроприводов горных машин.

При выполнении обзора использовался метод систематизации и классификации информации на группы и подгруппы.

В качестве инструментария для обзора использовались:

1. Рецензируемые научные издания, входящие в перечень ВАК, ведущие зарубежные научные журналы, монографии.
2. Материалы и тезисы всероссийских и международных конференций.
3. База данных ФИПС, база данных WIPO, база данных EPO.

Результаты, полученные при выполнении 1 этапа Государственного контракта:

1. Детальный обзор существующих средств повышения энергоэффективности асинхронных электроприводов горных машин.
2. Систематизация и анализ научных информационных источников, по результатам которого сформулированы направления работ для выполнения последующих этапов Государственного контракта.

Содержание

Определения	5
Обозначения и сокращения	7
Введение	8
Обзор научных информационных источников в исследуемой области	9
Обзор научных информационных источников	9
Особенности электроприводов горных машин.....	9
Подходы к энергосберегающему управлению	14
Энергооптимальные системы частотно-регулируемого электропривода ...	21
Выводы.....	27
Обзор имеющихся технологических решений	28
Заключение	31
Список использованных источников	32
Приложение А Регламент патентного поиска	51
Приложение Б Отчет о патентном поиске	52

Определения

Резкопеременная нагрузка – под этим термином понимается специфичный для технологического процесса функционирования горных машин момент (усилие) нагрузки на рабочем органе, носящий случайный характер из-за изменения свойств горного массива, нерациональных действий машинистов с недостаточной квалификацией и по ряду других причин.

Энергоэффективность – комплексное понятие, в рамках данной работы подразумевающее эффективное использование электрической энергии, потребляемой электроприводом в процессе своего функционирования.

Коэффициент полезного действия – характеристика эффективности системы электропривода в отношении выполнения электромеханического преобразования энергии.

Коэффициент мощности ($\cos\varphi$) – величина, характеризующая отношение потребляемой электроприводом активной мощности к полной мощности, зависит от нагрузки на двигатель и на холостом ходу близок к нулю.

Синхронизированная асинхронная машина (асинхронизированная синхронная машина) – способ управления электроприводом на базе асинхронного двигателя с фазным ротором, предусматривающий пропускание по обмоткам ротора тока несинусоидальной формы (квазипостоянного тока) с целью получения свойств синхронного двигателя в асинхронных электроприводах.

Соотношение u/f – соотношение между амплитудой и частотой подводимого к асинхронному двигателю напряжения при скалярном частотном управлении.

Система координат d,q – система координат, используемая при частотном управлении асинхронным двигателем, ось d которой направлена вдоль одного из векторов электромагнитных переменных, определяющих электромагнитный момент.

Переменные состояния – набор переменных объекта управления, позволяющих описать его в пространстве состояний, движение системы в котором отражает изменение ее состояний.

Градиентное управление – под этим термином в рамках данной работы понимается алгоритм управления, синтезированный на основе метода скоростного градиента.

Искусственные нейронные сети – программные или аппаратные реализации математических моделей, построенных по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей, используемые в задачах прогнозирования, оптимизации, и управления.

Нечеткий регулятор (fuzzy controller) – регулятор, построенный на базе нечеткой логики (fuzzy logic).

Генетические алгоритмы (genetic algorithm) – эвристические алгоритмы поиска, используемые для решения задач оптимизации путем случайного подбора, комбинирования и вариации искомым параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию.

Метод роя частиц (particle swarm optimization) – метод численной оптимизации, для использования которого не требуется знать точного направления наискорейшего возрастания оптимизируемой функции.

Метод дифференциальной эволюции (differential evolution) – метод многомерной оптимизации, относящийся к классу стохастических алгоритмов и использующий некоторые идеи генетических алгоритмов.

Обозначения и сокращения

Ссылки на литературные источники приведены в квадратных скобках [] в соответствии со списком использованных источников. Ссылки на материалы патентного поиска приведены в фигурных скобках {} в соответствии с приложением Б.

Список использованных сокращений:

ГМ – горные машины.

ЭП – электрический привод, электропривод.

СУ – система управления.

АД – асинхронный двигатель.

АД КЗ – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

АД ФР – асинхронный двигатель с фазным ротором.

ПЧ – преобразователь частоты.

НПЧ – непосредственный преобразователь частоты.

КПД – коэффициент полезного действия.

ТРН – тиристорный регулятор напряжения.

АИН – автономный инвертор напряжения.

ИНС – искусственная нейронная сеть.

Введение

В настоящее время наблюдается интенсификация процесса внедрения частотно-регулируемых асинхронных электроприводов в машины горнодобывающего производства. Данная тенденция берет начало еще в середине прошлого века, однако для ее закрепления и продвижения потребовались многочисленные работы как отечественных, так и зарубежных исследователей.

В решение задачи применения регулируемого электропривода для повышения надежности, производительности и безопасности функционирования горных машин большой вклад внесли Г.И. Бабокин, Р.М. Валиев, Ю.Я. Вуль, П.Д. Гаврилов, Е.К. Ещин, В.Д. Земляков, Н.Ф. Ильинский, В.И. Ключев, В.Г. Каширских, М.С. Ломакин, А.В. Ляхомский, Г.Б. Онищенко, Г.Г. Пивняк, Е.З. Позин, Г.Я. Пятибратов, Г.И. Разгильдеев, С.В. Солод, Б.Я. Стариков, В.С. Тулин, В.Н. Фащенко и другие. Работы многих перечисленных авторов направлены в первую очередь на применение частотно-регулируемого асинхронного электропривода.

Большой вклад в решение задач исследования и построения систем управления для асинхронных электроприводов с частотным регулированием внесли М.М. Ботвинник, И.Я. Браславский, А.А. Булгаков, А.М. Вейнгер, А.Б. Виноградов, Д.Б. Изосимов, Н.Ф. Ильинский, А. Е. Козярук, М.П. Костенко, В.В. Рудаков, Ю.А. Сабинин, О.В. Слежановский, С.Г. Соколовский, В.М. Терехов, Ю.С. Усынин, Ю.Г. Шакарян, Р.Т. Шрейнер, В.А. Шубенко, F. Blashke, В.К. Bose, G. Dong, J. Holtz, I. Kioskeridis, D.S. Kirschen, H. Kubota, W. Leonard, T.A. Lipo, T. Noguchi, D.W. Novotny, I. Takahashi, C. Thanga Raj и др.

Системы управления значительной доли энергосберегающих асинхронных электроприводов построены с применением нелинейных методов синтеза, в развитие которых значительный вклад внесли Б.Р. Андриевский, С.В. Емельянов, А.А. Красовский, П.Д. Крутько, А.М. Ляпунов, И.В. Мирошник, В.О. Никифоров, Л.С. Понтрягин, В.В. Солодовников, А.Л. Фрадков, В.А. Якубович, С. Byrnes, S. Dubowsky, A. Isidori, Z. Jiang, Y.D. Landau, R. Marino, P. Tomei и др.

Несмотря на большое количество проведенных исследований, вопрос создания энергоэффективных систем управления для электроприводов горных машин до сих пор до конца не решено, исходя из этого, целесообразным является проведение обзора и анализа научных информационных источников и запатентованных технологических решений в данной области.

Обзор научных информационных источников в исследуемой области

В рамках обзора научных информационных источников в области средств повышения энергоэффективности асинхронных электроприводов горных машин использовался следующий инструментарий:

1. Рецензируемые научные издания, входящие в перечень ВАК, ведущие зарубежные научные журналы, монографии.
2. Материалы и тезисы всероссийских и международных конференций.
3. База данных ФИПС, база данных WIPO, база данных EPO.

Ведущие научные периодические издания и монографии содержат конкретные данные о вновь получаемых результатах в области энергосберегающего управления электроприводами. Эти источники научной информации наиболее полно отражают современные тенденции развития научных и технических разработок. Использование данного инструментария позволит выполнить более полный и качественный аналитический обзор.

Материалы и тезисы всероссийских и международных конференций содержат сведения о работах, посвященных проблемам потребления электроэнергии, в том числе и в области электропривода и энергосбережения, находящихся на самой ранней стадии разработки. Использование данного инструментария при написании аналитического обзора будет способствовать повышению его качества и актуальности информации.

Использование баз данных ФИПС, WIPO и EPO даст возможность проведения глубокого патентного поиска в области энергосбережения для электроприводов горных машин. Выполнение патентного поиска с использованием данного инструментария будет способствовать наиболее полному и качественному исследованию состояния вопроса.

Обзор научных информационных источников

Особенности электроприводов горных машин

Горные машины это отдельный класс технологического оборудования, производящего разрушение и транспортирование полезных ископаемых, в первую очередь угля, поскольку по авторитетным оценкам [234] использование угля в последующие десятилетия будет увеличиваться в связи с возрастанием объемов потребляемой энергии.

К горным машинам относятся экскаваторы, буровые станки, очистные и проходческие комбайны, скребковые и ленточные конвейеры и многие другие типы установок горнодобывающего комплекса. В зависимости от назначения ГМ различаются по принципу действия и конструктивным особенностям. Несмотря на различия, их объединяет работа в тяжелых условиях, где необходимо преодолевать резкопеременную нагрузку, и использование в них электрического привода. В частности, электроприводами оснащаются:

- тяговые механизмы;
- погрузочно-разгрузочные механизмы;
- механизмы подачи режущих инструментов;
- механизмы движения режущих инструментов;
- вспомогательные механизмы и т.д.

Электроприводы обеспечивают приведение в движение исполнительного органа ГМ и управляют этим движением, потому от эффективности функционирования электропривода в существенной мере зависит эффективность работы всей ГМ.

В состав ЭП в общем случае входят механический преобразователь (трансмиссия), электродвигатель, преобразователь электрической энергии и система управления этим комплексом устройств. При этом именно на СУ возлагается задача управления движением исполнительного органа, обеспечение защиты от аварийных ситуаций и высоких показателей эффективности функционирования ГМ в целом.

Следует отметить, что электроприводы ряда ГМ для открытых горных работ, ЭП шахтных электровозов и некоторые другие строятся на базе двигателей постоянного тока, однако большая часть электроприводов ГМ строится на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором в силу их большей надежности, простоты обслуживания, меньших габаритов и других преимуществ. При этом, учитывая, что инженерный опыт использования регулируемого электропривода постоянного тока объективно больше, чем для регулируемого электропривода переменного тока, существует достаточно много разработок, направленных на совершенствование таких электроприводов в ГМ, например [4, 6, 25, 26, 31]. В то же время, как отмечается, например, в [33, 47 – 50], наиболее перспективным с точки зрения совершенствования ГМ является регулируемый ЭП на базе АД.

По причине того, что изготовление регулируемых асинхронных электроприводов во взрывозащищенном рудничном исполнении сопряжено со сложными техническими задачами, связанными с защитой от токов утечки, охлаждением силовых полупроводниковых приборов, проблемой «длинного кабеля» и другими, часть из которых до сих пор с полной мере не решена, в отличие от электроприводов общепромышленного назначения, в существенной доле асинхронных ЭП для ГМ в качестве электрического преобразователя используются коммутационные устройства, выполняющие переключения обмоток двигателя [9, 74], а управление сводится лишь к решению задач пуска прямым включением и останова отключением от сети.

Очевидно, что применение таких ЭП является устаревшим и неэффективным решением, зачастую провоцирующим снижение надежности и качества функционирования ГМ. Однако, в силу инерционных процессов промышленного производства в области горного машиностроения, применение регулируемых асинхронных электроприводов горных машин не приняло массовый характер. Тем не менее, многочисленные положительные эксперименты по внедрению на ГМ регулируемого электропривода на базе АД КЗ с применением преобразователей частоты свидетельствуют о том, что именно такой электропривод позволит обеспечить качественное регулирование движения рабочего органа, повышение надежности функционирования ГМ, а также энергосбережение средствами организации грамотного управления.

Так, в [1] обосновывается применение частотно-регулируемого электропривода подачи очистного комбайна. По сравнительным характеристикам такой электропривод обладает лучшим быстродействием и надежностью по сравнению с гидравлическими приводами и лучшими габаритными размерами по сравнению с регулируемым приводом постоянного тока.

В [87] рассматривается управление электроприводом резания проходческого комбайна. Проводится создание нелинейного регулятора на базе компенсационного подхода с использованием методов дифференциальной геометрии, что позволяет в условиях резкопеременной нагрузки получить высокое качество регулирования электропривода.

В [7] проводится сравнительный анализ ЭП скребковых конвейеров. При этом такие варианты как односкоростной АД с гидромуфтой, двухскоростной АД с эластичной муфтой, двухскоростной АД и гидромуфта с изменяющимся наполнением, электропривод с выравнивающим редуктором, а также АД с тиристорным регулятором напряжения авторами критикуются в силу различных недостатков, а вариант, предусматривающий использование ПЧ – АД, признан лучшим, поскольку он обеспечивает надежный плавный пуск АД и точное выравнивание нагрузок без повышения скольжения. Помимо этого, привод с ПЧ – АД обеспечивает плавное регулирование скорости цепи, а при блокировании цепи возможна организация рекуперативного торможения, что повышает энергетические и эксплуатационные показатели.

В [23] рассмотрен частотно-регулируемый электропривод конвейера с распределенными параметрами механической части. Авторами разработана структура и методика для определения параметров СУ предлагаемого электропривода, которая обеспечивает демпфирование волновых колебаний, происходящих в полотне ленты конвейера. Дополнительно отмечается, что регулирование скорости ЭП конвейера способствует рациональному энергопотреблению.

В [9] описан опыт внедрения ПЧ – АД на самоходные вагоны. Отличительной особенностью электропривода послужила способность организовать согласованную работу четырьмя АД, каждый из которых работает с разной резкопеременной нагрузкой. Энергетическое состояние электропривода оптимизировалось с использованием скалярного способа управления АД за счет параметрирования кривой соотношения амплитуды и частоты подводимого напряжения.

В [31] анализируются варианты использования различных типов регулируемых электроприводов для разрушающих механизмов экскаваторов. Среди вариантов сравнивается электропривод постоянного тока с тиристорным преобразователем и транзисторным широтно-импульсным преобразователем и асинхронный электропривод с непосредственным преобразователем частоты. Авторами дается заключение, что в экскаваторных электроприводах, для которых характерно глубокое регулирование скорости исполнительного органа и значительное время работы в зоне низких угловых скоростей двигателя с большими нагрузками в цикле, тиристорные системы оказываются более предпочтительными по соотношению энергоэффективность – стоимость, чем соответствующие транзисторные, причем это соотношение для двигателей постоянного и переменного тока приблизительно равно. Тем не ме-

нее, высказывается предположение о возможной высокой эффективности электропривода с АД и ПЧ с многоуровневым инвертором.

В [207] предлагается в качестве эффективной меры повышения качества управления для ГМ широкого спектра назначения применять асинхронные электроприводы с прямым управлением моментом.

В [30] описывается использование частотно регулируемого АД для электропривода шахтного проветривания, при этом отмечается высокая эффективность данного технического решения, особенно по сравнению с мерами энергосбережения путем оптимизации графика суточного потребления электроэнергии в часы максимума и минимума электрических нагрузок.

В [32] рассказывается об частотно-регулируемом электроприводе в шахтных вентиляторных и компрессорных установках, резерв энергосбережения которых общеизвестно высок. Этот резерв предлагается использовать, реализуя различные силовые структуры НПЧ, тем самым, регулируя частоту и напряжение, подводимое к двигателю и оптимизируя стационарные режимы работы.

В [2] описывается использование регулируемого электропривода для снижения динамических нагрузок шахтной подъемной установки. Разрабатывается нелинейный регулятор скорости, при этом в случае применения электропривода на базе асинхронного двигателя необходимо обеспечить поддержание его потокосцепления.

В [13, 15, 27, 39] говорится об использовании режима динамического торможения для регулируемого АД ФР с целью повышения надежности шахтной подъемной установки за счет дублирования механического тормоза.

В [89] обоснована схема силовой части частотно-регулируемого асинхронного электропривода горных машин в режиме динамического торможения, соответствующая действующим нормативам безопасности. Ее применение позволяет получить регулировочные и механические характеристики высокого качества, достаточно глубокий диапазон регулирования асинхронного электропривода в режиме динамического торможения. Получены зависимости жесткости механических характеристик в функции мощности и частоты напряжения питания электродвигателя.

В [85] описано эффективное применение электропривода с ПЧ – АД для шахтных электровозов, а в [86] приведен положительный опыт внедрения таких электроприводов для шахтных водоотливных установок. Указанные работы проводились в рамках темы «Энергосберегающие технологии в электроприводе шахтных машин и установок» выполняемой коллективом научной школы ЮРГТУ (НПИ), г. Новочеркасск.

Достаточно большой объем работ по внедрению регулируемых электроприводов ГМ, проводится научной школой КузГТУ (ранее КузПИ), г. Кемерово. В него входит совершенствование электроприводов скребковых конвейеров [42 – 46, 55, 56], карьерных экскаваторов [53, 57, 58, 245], буровых станков [59, 60] и других типов ГМ, и включает в себя решение вопросов, связанных с защитой от экстренных стопорений [43, 54, 61 – 64], охлаждением силовых полупроводниковых элементов во взрывозащищенной оболочке [76 – 79], оптимизацией режимов работы ГМ [41 – 43, 54, 63, 65 – 75], диагностикой электроприводов ГМ [52, – 83] и другими актуальными задачами.

Большинство этих работ построено на использовании частотно-регулируемого асинхронного электропривода и включает как создание общих методов оптимального управления асинхронным электроприводом [51, 54, 66, 67, 70, 75], так и подходов к управлению конкретными типами ГМ. Например, в [43, 55, 63] представлены варианты управления электроприводом ГМ с цепным тяговым органом, таких как очистные комбайны, струги, скребковые конвейеры, а в [40 – 42] решены вопросы по внедрению частотно-регулируемого асинхронного электропривода для очистных комбайнов.

Также большое внимание в работах уделялось процессам, протекающим в электроприводе ГМ при пуске асинхронного электродвигателя [56, 72 – 74]. В этих работах в первую очередь решаются технологические задачи и вопросы надежности, однако отмечается, что плавность пуска АД повышает энергоэффективность ГМ, особенно при циклической работе.

Современное развитие научной школы КузГТУ ведется в направлениях диагностики и идентификации электроприводов ГМ [170 – 180] и синтеза нелинейных систем управления для двигателей переменного тока, в том числе в составе электроприводов ГМ [108 – 128].

Подводя итог анализу многочисленных разработок по внедрению для ГМ частотно-регулируемых электроприводов на базе АД КЗ можно отметить, что в каждой из них достигается уникальное решение поставленных авторами задач. Однако задача обеспечения энергоэффективности совместно с решением технологических вопросов улучшения эксплуатационных показателей и повышения надежности электропривода, что является критичным для ГМ, в явном виде практически не ставится.

Конечно, в ряде описанных выше исследований отмечается снижение уровня энергопотребления или повышение энергетических свойств, таких как, коэффициент полезного действия и $\cos\varphi$, однако данный результат в существенной мере является следствием рациональной организации работы электропривода в конкретных технологических условиях. Несмотря на то, что экономия энергии в таком случае может даже превосходить энергопотребление электропривода, резерв экономии исчерпывается далеко не полностью, и для освоения этого ресурса энергосбережения необходим более детальный подход к построению СУ электроприводом ГМ.

Как отмечается в [33, 242], наиболее эффективное управление электроприводом ГМ может быть получено при решении вопросов оптимизации режимов его работы с использованием нелинейных методов управления, досконально учитывающий особенности электропривода ГМ как объекта управления.

Среди таких особенностей наиболее важными являются: наличие упругих элементов с переменной жесткостью в механической части, резкопеременная нагрузка на исполнительном органе, повторно-кратковременный режим работы и специфика систем электроснабжения. При этом для достижения оптимизации по энергетическим критериям важно учитывать существенную нелинейность преобразователя частоты, обеспечивающего питание АД, а также свойства самого двигателя, традиционно включаемые в допущения при построении математического описания, такие как, например, нелинейность кривой намагничивания АД.

Учитывая недостаточно глубокую проработку вопроса по созданию специально для ГМ энергоэффективных систем управления электроприводов, обеспечивающих энергосбережение за счет использования резервов самого двигателя, необходимо детально изучить опыт создания аналогичных систем для электроприводов общепромышленного назначения.

Подходы к энергосберегающему управлению

Основные подходы для энергосбережения средствами электропривода и энергосбережения собственно в электроприводе достаточно четко сформулированы в [152], обобщая в рамках пяти направлений все возможные разработки в этой области. Как показал литературный обзор, способов энергосбережения, выходящих за рамки данных направлений, для электропривода в его сегодняшнем представлении объективно не существует.

Первое направление энергосбережения предполагает рациональное проведение процедуры выбора мощности двигателя для конкретной установки. Энергоэффективность данного средства объясняется тем, что зачастую с целью обеспечения надежности функционирования (что в том числе весьма характерно для горных машин) для электропривода выбирается двигатель завышенной мощности. При нерациональной мощности двигателя и отсутствии регулирования, он выполняет электромеханическое преобразование энергии с высокими удельными потерями, обусловленными низким КПД и $\cos\phi$ при нагрузке, меньшей номинальной.

Необходимо отметить, что совершенствование процедур выбора двигателей для различных технологических установок производится непрерывно по мере накопления опыта их эксплуатации, однако для ГМ, учитывая резкопеременную нагрузку, которую преодолевают их электроприводы, этого подхода недостаточно.

Второе направление заключается в повышении экономичности электропривода за счет использования электродвигателя специальной конструкции, изначально обладающего повышенными энергетическими характеристиками.

Энергетические характеристики двигателя определяются уровнем его потерь при электромеханическом преобразовании энергии, среди которых можно выделить магнитные потери (потери в стали), электрические (потери в меди), механические и добавочные. Значение каждой из составляющих потерь в АД зависит от режима его работы [162, 184]. При частотном регулировании АД в общие потери электропривода добавляются также потери в ПЧ, сетевых фильтрах и питающих двигатель кабелях, которые зависят от величины нагрузки двигателя, режима его работы и требуемой угловой скорости.

Для двигателей общепромышленного исполнения традиционной конструкции потери в стали могут составлять более 20 % полных потерь номинального режима и более 50 % полных потерь холостого хода [153, 162], а питание таких двигателей от ПЧ увеличивает магнитные потери еще на 5-6 % [160, 161].

Учитывая конечную емкость конденсаторов на входе автономного инвертора напряжения и ограничения по скважности широтно-импульсного модулятора ПЧ,

растет потребляемый ток двигателя и снижается его КПД. Это приводит к снижению фактической мощности двигателя вплоть до 10 % от номинальной [161]. А для двигателей средней мощности (10-100 кВт) потери в инверторе носят существенное значение [189].

С учетом описанных факторов наиболее простым решением в рамках данного подхода является увеличение массы активных материалов (стали и меди), а также использование конструкционных материалов с улучшенными свойствами. Этот способ активно предлагается к внедрению зарубежными производителями АД, например Siemens, однако его эффект при переменной нагрузке снижается, кроме того такой АД имеет большую стоимость.

Другой способ, применяемый в рамках данного направления это разработка специальных конструкций для АД и методик его оптимального проектирования. При этом задача оптимального проектирования в каком-то смысле наиболее приоритетная, поскольку позволяет изначально добиться применения такого электропривода, в котором при эксплуатации возможно отыскание глобального минимума по потерям для конкретных условий работы.

Так, например, существуют разработки [10, 11], в которых оптимизация работы электропривода достигается применением асинхронных электродвигателей особой конструкции. К сожалению, эту конструкцию невозможно применить для электроприводов ГМ.

В [19 – 22] рассматривается вопрос энергосбережения в АД с применением индивидуальной компенсации реактивной мощности, для чего традиционная конструкция двигателя подвергается модернизации. Применение данного подхода в электроприводах ГМ может оказаться вполне обоснованным, однако задача исследования электропривода с индивидуальной компенсацией реактивной мощности в условиях резкопеременной нагрузки авторами не ставилась.

Создаются методики проектирования АД с учетом его работы в условиях частотно-регулируемого электропривода [24, 31, 95]. Они позволяют проектировать АД без существенного увеличения габаритных размеров, но обеспечивают энергоэффективную работу двигателя с ПЧ без завышения магнитных потерь.

Помимо описанных выше, как отечественными, так и зарубежными исследователями разработано большое количество методик оптимального проектирования энергоэффективных АД, применяющих и традиционные подходы к проектированию и нелинейные и интеллектуальные математические методы. С некоторыми из них можно познакомиться по [182]. Недооценивать полученные результаты нельзя, однако, в случаях электропривода ГМ двигатель, как правило, выступает в роли неизменных начальных условий, а внедрение новых типов двигателей сдерживается ограничением на габаритные размеры в условиях необходимости обеспечивать взрывозащиту, и материалы и конструкции, допускаемые требованиями нормативной документации.

Третье направление предполагает использование специальных устройств, включаемых между сетью и статором двигателя, которые осуществляют управление режимами пуска и торможения АД, одновременно выполняя функцию энергосбережения.

Например, в [181] решается проблема минимизации потерь в переходных процессах пуска АД, а в качестве решения выбрано использование инвертора тока в сочетании с применением АД с удлиненными лобовыми частями. В некоторой степени представленное решение является комбинацией второго и третьего направлений.

В чистом виде третье направление повышения энергоэффективности описывается в [12], где для управления пуском и остановом высоковольтных электроприводов установок металлургического производства применен АД с ТРН.

В [56, 72 – 74] детально проанализированы как схемные решения, так и варианты управления ТРН для асинхронных электроприводов ГМ. Однако, как отмечалось выше, применения тиристорных регуляторов, решающих задачи пуска и останова, недостаточно, чтобы для ГМ в полном объеме обеспечить качество выполнения технологических операций, надежность и энергосбережение.

Четвертое направление включает в себя переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому. Следует отметить, что расширяющееся применение регулируемых асинхронных электроприводов для достижения новых качественных результатов в технологии, а также замена нерегулируемых электроприводов регулируемыми в энергоемком оборудовании с целью энергосбережения являются основными направлениями развития автоматизированных электроприводов различных технологических процессов [91].

Отдельное место в регулируемом асинхронном электроприводе занимают системы, построенные на базе АД ФР. В них встречается применение синхронизированных асинхронных машин, машин двойного питания, асинхронно-вентильных каскадов. Например, в [5] описывается система управления двухдвигательным АД ФР электропривода крана с применением тиристорных преобразователей в цепи ротора с целью согласования угловых скоростей двигателя. Работа интересна, учитывая, что электроприводы ГМ часто выполняются по многодвигательной схеме. В [28, 29] рассматривается АД ФР с импульсно-векторным управлением и обращается внимание на его благоприятные эксплуатационные и энергетические характеристики, особенно для приводов вентиляторных установок большой мощности.

Однако подавляющее большинство регулируемых асинхронных электроприводов не предполагают управления двигателем со стороны ротора и строятся, как правило, на базе АД КЗ с применением ПЧ. Положительные эффекты от внедрения систем ПЧ – АД в электроприводы общепромышленного назначения отмечаются, например, в [3]. Эта тенденция подтверждается примерами применения частотно регулируемых асинхронных электроприводов во всех отраслях промышленности: в металлургии [12], для подъемных машин [38], запорной арматуры [14], вентиляторных установок [32] и многие другие.

По своей структуре системы ПЧ – АД могут существенно отличаться в зависимости от того, какой принцип управления заложен в их СУ. Принципы управления достаточно точно можно разделить на скалярные, например [17, 123, 146, 147], и векторные.

Скалярные СУ асинхронным ЭП построены на принципе однозначной линейной зависимости между угловой скоростью идеального холостого двигателя и частотой подводимого напряжения. Учитывая высокую жесткость механических ха-

рактических в пределах диапазона допустимых нагрузок, изменения частоты подводимого напряжения приводят к соответствующему изменению скорости. При этом для обеспечения рационального энергетического режима работы и поддержания в допустимых пределах перегрузочной способности двигателя, одновременно с частотой по определенному закону изменяют также амплитуду подводимого к двигателю напряжения (реже амплитуду тока, протекающего по цепи статора). От выбранного закона во многом зависят как статические, так и динамические показатели качества работы электропривода, однако, большинство скалярных СУ в сравнении уступают векторным.

Векторные СУ характеризуются тем, что управляют взаимным пространственным положением векторов переменных состояния АД с целью регулирования электромагнитных переменных двигателя (потокосцеплений), его электромагнитного момента, а также угловой скорости или других механических координат электропривода.

Наиболее известной разновидностью векторных СУ является полеориентированное управление (field oriented control), часто именуемое в литературе векторным управлением [131, 133, 136 – 139, 143, 165]. Такие СУ строятся на основании математического описания АД в пространстве состояний с использованием линейных преобразований к системе координат, направленной вдоль одного из векторов состояния [132, 134 – 136, 140 – 142]. При помощи перехода к новой системе координат организовать управление АД можно по аналогии с двигателями постоянного тока, разделяя управляющие воздействия для электромагнитных переменных и электромагнитного момента. Это позволяет применять для регулируемого асинхронного электропривода опыт построения систем управления, накопленный для электроприводов постоянного тока, в том числе проводить оптимизацию работы по различным критериям.

Другой разновидностью векторных СУ является прямое управление моментом (direct torque control), различные варианты которого представлены в [93, 98 – 105, 205 – 207]. Данные СУ обладают наибольшим быстродействием среди всех способов управления АД, поскольку их принцип работы построен на разрывном управлении ключами инвертора напряжения ПЧ. Однако в силу этой же особенности для АД характерны высокие пульсации электромагнитного момента, что влияет на статическую точность и диапазон регулирования. Для исключения данного недостатка существуют модификации систем прямого управления моментом [97, 100 – 102, 247], предлагающие осуществлять управление АИН с использованием широтно-импульсной модуляции.

Следует отметить, что большой вклад в развитие как систем полеориентированного управления, так и систем прямого управления моментом сделан научной школой НГТУ, г. Новосибирск.

Помимо перечисленных разновидностей векторных СУ, существуют разработки, в которых управление АД организуется на основе алгоритмов синтезированных с использованием методов нелинейной теории автоматического управления. Так, достаточно высокие результаты демонстрирует градиентное управление [108, 109, 111, 112, 117, 125, 127, 128], синтезированное на базе метода скоростного градиента,

разработанного А.Л. Фрадковым, и управление с использованием принципа максимума Л.С. Понтрягина [154 – 159]. Обе приведенные разновидности векторных СУ проанализированы на предмет работы в условиях резкопеременных нагрузок.

Важно учитывать, что сравнение различных типов асинхронных электроприводов, как со скалярными, так и с векторными СУ, затрудняется с одной стороны принципиальными различиями в структуре, а с другой – их различным назначением и, как следствие, получаемыми в итоге показателям качества. Например, в [243] предлагаются следующие критерии для сравнения:

- диапазон регулирования скорости;
- точность обработки программных значений скорости;
- работоспособность при малых скоростях;
- время переходного процесса при подаче ступенчатого задающего воздействия;
- робастность (нечувствительность) по отношению к неопределенностям параметров и внешних воздействий;
- минимизация электропотребления как в переходных, так и в установившихся режимах при различных нагрузках;
- минимальное влияние на точность наброса и сброса нагрузки, как при больших, так и при малых скоростях;
- быстрота готовности к работе после включения двигателя;
- минимальное количество датчиков;
- минимальность объема вычислений;
- способность восстанавливать свою работоспособность после сбоев в системе или прекращения подачи питания без повторного перезапуска системы после остановки ротора.

Очевидно, что добиться наивысших показателей по всем перечисленным критериям одновременно не может ни одна существующая система асинхронного электропривода, а выбор критерия, по которому производится максимизация свойств, обусловлен решением конкретной технологической задачи.

Например, в качестве задачи может выступать улучшение динамики изменения механических координат, как в [17], где предлагается нечеткий регулятор угловой скорости АД, формирующий значение амплитуды и частоты напряжения подводимого к двигателю, управляемому по скалярному принципу.

В [97, 106, 107] рассматривается решение задачи обеспечения близкого к предельному быстродействию системы управления моментом при ограниченном ресурсе инвертора напряжения с ШИМ, питающего обмотку статора двигателя, необходимое, например, для систем воспроизведения движений.

Часто рассматриваются задачи повышения надежности, как в [18], где предлагаются принципы построения трехфазного частотно-регулируемого асинхронного электропривода, позволяющего при отказе одной из трех фаз обеспечить работу в двухфазном режиме с сохранением кругового вращающегося поля за счет активизации алгоритма восстановления в управляющем микроконтроллере.

Встречаются варианты решения задачи компенсации реактивной мощности. Так, в [90] рассмотрена модернизация существующих схем транзисторных преобразователей.

зователей частотно-регулируемых электроприводов с узлом динамического торможения путем дополнения вариантами схем с силовыми активными фильтрами – компенсаторами реактивной мощности и мощности искажений, что увеличивает энергетические показатели электропривода.

Однако, зачастую, перед электроприводами не ставится отдельной задачи энергосбережения, а полученная от внедрения системы ПЧ – АД экономия энергии достигается за счет того процесса, для которого данный электропривод применяется. Данная особенность, наряду с общепромышленными механизмами, отмечалась выше и для механизмов горных машин.

Пятое направление энергосбережения средствами электропривода как раз и заключается в учете помимо прочих еще и энергетических критериев оценки его качества. Сложность применения данного подхода заключается в необходимости помимо управления выходными технологическими переменными соответствующим образом воздействовать и на электромагнитные переменные, определяющие режим работы двигателя и, как следствие, его потери. Учитывая сложное нелинейное математическое описание АД даже в статических режимах его работы, для оптимизации по энергетическим показателям требовалось применение нелинейных методов теории автоматического управления. В свою очередь, эти методы получили широкое распространение на практике только несколько последних десятилетий в связи с прорывом в области вычислительной техники.

Отдельно следует отметить, что, для получения эффекта энергосбережения от управления асинхронным электроприводом, как и для организации качественной работы с точки зрения технологии, часто необходимо иметь информацию о механических координатах электропривода, таких как угловая скорость двигателя и электромагнитный момент, что требует применения дополнительных датчиков. Установка же лишних датчиков зачастую затруднительна, а в условиях работы ГМ может быть вообще недопустима.

Современные электроприводы этот вопрос решают путем оценки требуемых величин. На данный момент существует огромное количество работ, выполненных в этом направлении. Например, в [16] с применением алгоритма беспойсковой градиентной идентификации составлена цифровая модель инверсного идентификатора для электропривода, работающего в условиях влияния дестабилизирующих факторов, позволяющая производить оценку состояния АД.

В [38] предлагается применять классические средства оценки для бездатчикового векторного управления, однако разработаны варианты решения присущих им проблем. Так, для исключения непосредственного интегрирования предлагается введение дополнительной обратной связи, содержащей ПИ-регулятор, что придает системе асимптотическую устойчивость, а для решения вопросов с изменяющимися параметрами в работе предлагаются адаптивные алгоритмы, построенные на базе теории функций А.М. Ляпунова.

В [8] на основе прямого метода А.М. Ляпунова предложен адаптивный скользящий наблюдатель угловой скорости двигателя, а в [93] рассмотрен вопрос синтеза наблюдателя вектора потокосцепления статора асинхронного двигателя на основе нейронной сети для системы прямого управления моментом.

Достаточно широкий спектр работ проведен в [172, 174, 176, 180], где рассматривается оценка как электромагнитных, так и механических переменных асинхронного электропривода применительно к ГМ.

Не стоит забывать, однако, что оценка состояния АД хоть и необходима для организации энергоэффективного управления асинхронным электроприводом, в том числе и ГМ, но только ее применения недостаточно, чтобы обеспечить оптимизацию по потерям.

Задача оптимизации асинхронного электропривода по потерям может рассматриваться по отношению к двигателю, к ПЧ и к электроприводу в целом [162]. Создание оптимального управления по минимуму потерь двигателя важно в первую очередь для обеспечения надежной работы АД, поскольку вызванное дополнительными потерями повышение температуры обмоток двигателя приводит к ускорению процесса старения изоляции и сокращению срока его службы. Этот критерий особенно актуален для электроприводов ГМ. Оптимизация управления электроприводом по критерию потерь мощности в преобразователе целесообразна только с позиции обеспечения безаварийной работы ПЧ. В свою очередь оптимизация режимов электропривода по минимуму суммарных потерь в системе ПЧ – АД в целом имеет практическое значение именно для экономии электроэнергии. Однако минимизация суммарных потерь в частотно-регулируемом электроприводе выбирается в качестве критерия оптимальности не во всех разработках.

Решение задачи оптимизации по потерям регулируемого асинхронного электропривода варьируется в зависимости от выбранных методов и от типа самого двигателя. Так, для АД ФР предлагается использовать синхронизированный АД ФР с использованием ПЧ в цепи статора [37, 96]. При таком подходе достигаются характерные синхронным двигателям высокие энергетические показатели, даже в диапазонах номинальной нагрузки и угловой скорости двигателя, в дополнении к чему авторами разработана структура СУ, с которой статические режимы ЭП оптимизированы по минимуму тока статора.

Применение синхронизированной асинхронной машины предлагается также в [167], при этом, поскольку управление ведется одновременно как со стороны статора, так и со стороны ротора, предоставляется более широкие возможности оптимизации. В работе проводится сравнительная оценка эффективности различных законов управления таким электроприводом по критерию минимума электромагнитных потерь в статических режимах работы и показаны преимущества оптимального закона по [148].

В [88] так же оптимизация производится средствами одновременного воздействия, как со стороны статора, так и со стороны ротора АД. Однако в данной работе предлагается использование машины двойного питания с целью обеспечения высоких энергетических характеристик. Автором разработаны система двухзонного регулирования машины двойного питания, обеспечивающая сохранение высокого значения выходной мощности, способ управления частотой тока статора, обеспечивающий возможность рекуперативного торможения через роторную цепь, а также алгоритмы управления, обеспечивающие за счет распределения намагничивающих токов между обмотками статора и ротора оптимизацию по критерию минимума сум-

марных электрических и магнитных потерь. Проработана применимость разработанных теоретических решений к реальному технологическому механизму моталки стальной полосы и доказана их эффективность.

Приведенные выше результаты, несмотря на их эффективность, затруднительно распространить на электроприводы ГМ, поскольку для них в подавляющем большинстве случаев используется АД КЗ. При этом варианты построения оптимальных по потерям частотно-регулируемых электроприводов на базе именно этого типа двигателя представлены в гораздо большем объеме.

Энергооптимальные системы частотно-регулируемого электропривода

По принципу управления СУ для энергооптимального частотного электропривода могут быть поисковыми и беспоисковыми [182, 238], причем беспоисковые имеют преимущество в быстродействии, поскольку оптимальное управляющее воздействие формируется на основе аналитических зависимостей и не создает расчетных задержек, значимых в масштабах времени протекания электромагнитных процессов АД. В свою очередь поисковые энергооптимальные СУ не требуют знания параметров двигателя, так как в них проводится поиск по текущим энергетическим показателям, которые определяют регулярным измерением общей входной мощности двигателя или токов, протекающих по статорной цепи. С этой позиции рассматриваемые СУ разделим на системы с аналитическими регуляторами, с интеллектуальными регуляторами и с поисковыми регуляторами.

По структуре СУ для энергооптимального частотного электропривода, также как и для традиционного электропривода по системе ПЧ – АД, могут относиться к скалярным и векторным. Хотя в некоторых случаях строгую границу между этими способами можно провести достаточно условно, обе разновидности представлены достаточно широко.

Скалярные СУ энергооптимального электропривода построены на определении рациональных соотношений между частотой и амплитудой подводимого напряжения. Данное соотношение определяет энергетические показатели работы ЭП, поскольку от него, а также от параметров двигателя, зависит его магнитное состояние [144, 148, 183]. Таким образом, для конкретной рабочей точки, характеризующейся установившимся значением угловой скорости и электромагнитного момента двигателя, может быть найдено оптимальное соотношение u/f , при котором на формирование электромагнитных переменных двигателя будет расходоваться минимум общих потерь.

Основополагающая работа в области энергооптимального скалярного управления была выполнена еще в 1925 г. М.П. Костенко [144]. На ее основе неоднократно обращались к вопросу энергетической оптимизации статических режимов работы частотно-регулируемых ЭП многие как отечественные [145 – 150, 152, 164], так и зарубежные [186, 190 – 200] исследователи. Рассмотрим некоторые из них.

1. Аналитические регуляторы.

В [189] говорится, что для получения максимальной энергоэффективности, без учета потерь в инверторе, параметрированием соотношения u/f должна быть задана определенная амплитуда вектора основного магнитного потока. Однако для мощных двигателей эффективность способа снижается, особенно с учетом потерь в инверторе.

В работах [184, 185] детально проанализированы потери, возникающие в двигателе в различных режимах, и представлен регулятор, оптимальный по суммарным потерям АД. При этом авторами утверждается, что магнитный поток в воздушном зазоре всегда должен иметь значение, превышающее 0,3 от номинального, независимо от сигналов, формируемых регулятором, объясняя это тем, что на низких потоках для формирования требуемого электромагнитного момента создаются токи большей величины, поэтому результирующие общие потери будут больше. При этом работа с номинальным потоком обеспечивает более высокое качество механических переходных процессов.

В [246] для частотно-регулируемого электропривода решается задача определения частоты скольжения, обеспечивающей получение требуемого электромагнитного момента при заданной угловой скорости АД с минимальными потерями мощности в инверторе и электродвигателе. Описывается экспериментальная установка, технология проведения эксперимента и компьютерной обработки его результатов. Приводятся семейства оптимальных зависимостей частоты скольжения от момента и угловой скорости. В [187, 164] также описывается подход, в котором оптимальное по потерям управление достигается поддержанием требуемого значения скольжения двигателя. В [234], как и в предыдущих, осуществляется управление оптимальным скольжением, однако критерием здесь выступает обеспечение максимального электромагнитного момента при текущем токе статора. Особенностью этого способа является то, что он может применяться к уже существующим традиционным электроприводам со скалярным управлением.

В работе [188] достигается более высокая эффективность оптимизации. За счет учета насыщения магнитопровода, нелинейности питающего напряжения и эффекта вытеснения токов, разработанное скалярное управление по утверждениям авторов на 10-15 % эффективнее при нагрузках порядка 0,4 от номинальной.

В [166] проводится сравнительная оценка эффективности закона частотно-го управления $u/f=const$ и законов скалярного частотного управления с постоянством модуля вектора потокосцепления статора и ротора по отношению к оптимальному по минимуму полных потерь АД закону частотного управления из [148] в системах однозонного регулирования угловой скорости АД и доказано его преимущество.

В работах [34, 91, 241] проведены исследования процессов электромеханического преобразования энергии, в ходе которых обоснованы критерии оценки динамических и энергетических свойств электропривода, а также эффективности использования напряжения, подводимого к обмоткам двигателя. Разработаны способы управления, обеспечивающие многокритериальную оптимизацию работы двигателя, включающую минимизацию электрических потерь, и апробированы на системах скалярного частотно-токового управления АД.

2. Интеллектуальные регуляторы.

Многие разработчики скалярных СУ применяют интеллектуальные методы управления, например, предложенные в [201], для отыскания глобального оптимума энергоэффективности.

Так, в [202] рассматривается влияние текущего значения параметров двигателя на величину суммарных потерь, и используются генетические алгоритмы для уточнения параметров модели потерь. Уточненные параметры используются в СУ. На их основе из таблицы расчетных оптимальных значений выбираются величины амплитуды и частоты напряжения, подводимого к двигателю.

В [203] для организации оптимальной скалярной СУ используются искусственные нейронные сети, на вход которым подаются измеренный электромагнитный момент, угловая скорость и активное сопротивление ротора, а на выходе формируется значение оптимального потокосцепления ротора, на основании которого настраивается соотношение u/f . В [204] так же используются ИНС. Этот подход позволяет отыскивать оптимальное значение амплитуды подводимого к двигателю напряжения достаточно быстро (за два периода широтно-импульсной модуляции) исходя из желаемой угловой скорости или электромагнитного момента, независимо от нагрузки.

В [208, 209] для создания энергооптимальной скалярной СУ используется метод роя частиц. С его помощью отыскивается оптимальное по минимуму потерь двигателя скольжение, поддерживаемое изменением величин амплитуды и частоты подводимого напряжения. Этот метод используется также в [196] для настройки ПИД регулятора скорости, а [211] для отыскания оптимального скольжения используется метод дифференциальной эволюции.

3. Поисковые регуляторы.

В [224] поисковым способом изменяется подводимое напряжение, а в качестве переменной, по которой производится оптимизация, выбран ток статора, исходя из предположения, что минимальному току статора соответствуют минимальные суммарные потери электропривода. Аналогичный подход используется и в [225], где помимо этого экспериментально показано, что при минимуме тока статора входная мощность также меньше, чем в других случаях.

В [226] значение подводимого напряжения корректируется в зависимости от величины мощности в звене постоянного тока преобразователя. Дополнительно в систему управления вводится регулятор, корректирующий частоту подводимого напряжения, чтобы исключить ошибки регулирования скорости, вызванные изменяющимся напряжением.

Векторные СУ энергооптимального электропривода строятся исходя из принципов обеспечения возможности отдельного регулирования электромагнитного момента АД и его потокосцеплений. Такой принцип позволяет более глубоко, по сравнению со скалярными СУ использовать резерв энергосбережения, заложенный в двигатель.

Обзор показал, что в подавляющем большинстве случаев энергооптимальные векторные СУ представлены вариантами полеориентированного управления, однако другие разновидности векторных СУ также заслуживают внимания, как, например,

[210] в которой на основе метода роя частиц определяется ширина зоны гистерезиса и значение потокосцепления, обеспечивающие минимизацию потерь, для электропривода с прямым управлением моментом.

Также интересна работа [151], в которой рассматривается применение принципов и методов синергетической теории управления для решения задач энергосбережения. Изложены процедуры синергетического синтеза законов управления АД, обеспечивающих выполнение как технологических задач, так и минимизацию энергетических потерь. Наиболее ценным, по нашему мнению, результатом является аналитическая зависимость статической оптимизации, показывающая каким образом должна изменяться амплитуда вектора потокосцепления ротора при изменении электромагнитного момента для минимизации потерь с учетом преодолеваемой двигателем нагрузки.

1. Аналитические регуляторы.

Существуют работы, в которых оптимизация системы полеориентированного управления достигается не модификацией ее структуры или введением дополнительных алгоритмов, а рациональной настройкой традиционных регуляторов. Так, в работе [153] выполнено исследование зависимостей потерь энергии в переходных режимах асинхронного электропривода от типа и параметров регуляторов угловой скорости. По результатам моделирования авторами сделаны выводы, что в системе с пропорционально-интегральным регулятором энергетические характеристики имеют высокую чувствительность к вариациям коэффициента передачи, а энергия, потребляемая из сети за время переходного процесса, практически прямо пропорциональна этому коэффициенту. При этом зависимости количества потребляемой энергии и КПД электропривода от параметров настройки регуляторов имеют монотонный характер и при неверном выборе коэффициентов регуляторов энергетические характеристики векторной СУ могут оказаться даже хуже, чем у скалярной.

В [94] представлена система асинхронного электропривода с адаптивно-векторным управлением. Рассмотрены алгоритмы компенсации динамических неидеальностей инвертора напряжения, автонастройки параметров системы управления на параметры силового канала привода, адаптации характеристик привода к изменениям постоянной времени роторной цепи и параметров механической части привода, в том числе для обеспечения энергоэффективности.

В работах [36, 129, 130] проводится синтез оптимальных по быстродействию систем полеориентированного управления АД на основе метода непрерывной иерархии. Предложены алгоритмы управления, обеспечивающих ограничение вектора токов статора по модулю с целью повышения энергоэффективности.

Авторами [35] разрабатывается вариант векторной СУ, в которой производится полеориентирование относительно вектора тока намагничивания. Оптимизация работы АД проводится по минимуму тока статора с использованием инструментария векторных диаграмм. В [92] также описан способ, предусматривающий полеориентирование по вектору тока намагничивания и минимизацию тока статора.

Также заслуживают внимания работы [137, 165], в которых рассматриваются вопросы математического моделирования и оптимизации установившихся и переходных режимов с учетом нелинейности реальной характеристики намагничивания.

Комплексная оптимизация осуществляется в рамках полеориентированного управления. В статике используются различные технико-энергетические критерии, а в динамике – критерий метода непрерывной иерархии каналов регулирования, ориентированный на повышение быстродействия «в большом».

В работе [162] проведено всестороннее исследование энергетических свойств АД и описаны как способы оптимизации скалярных СУ по статическим характеристикам, так и разработанная векторная СУ. Предложенная авторами система управления отражает все наиболее важные при решении задачи оптимизации явления в силовой части и главные особенности структурного построения полеориентированной системы управления асинхронным электроприводом. В ней на входе регулятора момента обеспечиваются типовые переходные процессы, а синтез оптимального управления по совокупному энергетическому критерию ведется при заданной форме кривой скорости.

В [169] формулируется задача оптимального управления токами АД по минимуму удельной мощности потерь, однако в работе принимаются допущения об отсутствии насыщения магнитной системы и потерь в стали. При синтезе системы полеориентированного управления предполагается, что механические процессы протекают более медленно, чем электромагнитные, и имеет место квазистационарный режим протекания токов.

В [212] управление, учитывающее насыщение магнитопровода, строится на основе математической модели обобщенной электрической машины в осях координат d, q . На основе этой модели определялась оптимальная величина амплитуды вектора тока намагничивания, реализуемая в СУ. Решение предлагается для всех основных типов двигателей, включая АД.

В работе [214] рассматривается влияние изменяющихся параметров на минимизацию общих потерь АД. На основе данного анализа выбираются требуемый магнитный поток, обеспечивающий минимизацию электромагнитных потерь в системе полеориентированного управления.

В [215] исследуются установившиеся значения векторов токов и потокосцеплений при различных прикладываемых нагрузках, а для минимизации потерь организуется статическая система с обратными связями на основе функций А.М. Ляпунова. Система отличается низкими потерями при хорошей точности поддержания электромагнитного момента в статике.

В [216] производится упрощение алгоритма оптимизации по потерям путем учета особенностей преобразователя. При выборе требуемого потокосцепления ротора учитывались ограничения, накладываемые преобразователем на значения максимального напряжения и тока статора двигателя. Аналогичный подход применялся в работе [218].

В [217] оптимизация по потерям производилась с учетом коммутационных потерь в инверторе. Эти потери учитывались в виде эквивалентного сопротивления в схеме замещения и оказывали влияние на значение параметров регуляторов, входящих в состав СУ.

Подход, изложенный в [239, 240] предлагает получение оптимального по потерям электропривода за счет учета сопротивлений рассеяния и насыщения магнито-

провода для поиска оптимального потокосцепления ротора, а регулятор в СУ строится при помощи декомпозиции и применения линеаризации вход-выход.

2. Интеллектуальные регуляторы.

Данный класс векторных СУ представлен менее широко. В [219] предлагается гибридный подход, включающий генетические алгоритмы и метод роя частиц, которые используются одновременно и для управления электромагнитным моментом в системе полеориентированного управления, и для минимизации потерь. Генетический алгоритм применяется для минимизации потерь также в [220], а в [221] он используется для оценки постоянной времени ротора, на основе которой корректируются параметры регуляторов системы энергооптимальной системы векторного управления.

В [222, 223] энергоэффективность достигается за счет выбора правильного реактивного тока (тока по оси d), определяемого при помощи нейронных сетей.

3. Поисковые системы.

Пошаговое изменение потокосцепления намагничивания на входе системы полеориентированного управления для минимизации входной мощности предлагается в [227]. Эффективность подхода доказана экспериментально. С аналогичной целью предлагается регулировать потокосцепление ротора в [228]. Особенностью данного способа является то, что в регуляторе учитывается величина сопротивления ротора и ее изменение в процессе работы.

В [213] предложено изменять реактивный ток с целью минимизации входной мощности двигателя. Причем вместо ступенчатого изменения при поиске предлагается применять гладкое непрерывное изменение реактивного тока. Чтобы избежать ухудшения качества регулирования электромагнитного момента, в системе полеориентированного управления совместно с реактивным током должен меняться активный ток двигателя (ток по оси q).

В [229] рассматриваются три системы оптимального поискового управления с косвенным полеориентированием, где в качестве опорного вектора выступает потокосцепление статора, потокосцепление ротора и потокосцепление намагничивания. В результате их сравнения делается вывод о большей эффективности по потерям системы с полеориентированием по ротору.

В [230, 231, 232, 233] для организации поискового регулятора с минимизацией потерь дополнительно применяется аппарат нечеткой логики. В [231] напряжение выступает как контролируемая величина. В [230] рассматривается минимизация потерь в переходных режимах за счет корректировки уровня потокосцепления, а в [232] обеспечивается минимизация потерь как в установившихся, так и в переходных режимах. Вывод о энергооптимальности в переходных режимах сделан исходя из того, что регулятор с нечеткой логикой работает постоянно и не зависит от поиска по мощности. В работе [233] кроме изменения потокосцепления, нечеткий регулятор используется для изменения сигналов задания угловой скорости или электромагнитного момента.

В работе [163] представлено решение задачи экстремального управления, обеспечивающего наилучшее сочетание энергетических свойств и эффективности использования напряжения посредством соответствующих оценок. Оно позволяет

определить алгоритм управления, обеспечивающий минимизацию потерь в условиях ограничения напряжения. Предложенный подход к решению задач экстремального управления дает возможность посредством параметра времени, характеризующего интенсивность процессов электромеханического преобразования энергии, оценить динамические свойства электропривода при минимизации потерь в условиях ограничения напряжения.

В работах [235, 236] рассматриваются комбинации поисковых алгоритмов с системами оптимального управления. Регулятор, разработанный в [235] обеспечивает сохранение достоинств обоих подходов. В нем входная мощность двигателя используется для идентификации в режиме реального времени параметров функции потерь, на основе которой рассчитывается требуемое потокосцепление. Однако этому способу свойственно относительно низкое быстродействие оптимизации, вызванное проведением поиска, и некоторая чувствительность к параметрам.

В [236] комбинированный подход позволил добиться высоких результатов оптимального регулирования, даже при условии приблизительной информации о параметрах двигателя.

В [237, 238] проводится сравнение оптимальных и поисковых методов и делается вывод, что комбинированные системы могут принести хорошие результаты, но в случае полеориентированного управления предпочтительнее аналитические оптимальные методы, поскольку нагрузка может интенсивно изменяться, вследствие чего поисковые методы могут спровоцировать колебательные переходные процессы электромагнитного момента.

Выводы

Проведенный анализ показал многообразие систем управления, применяемых в энергооптимальных частотно-регулируемых асинхронных электроприводах. Данное многообразие, по нашему мнению, вызвано следующими основными факторами:

- 1) структура непосредственно СУ может принципиально отличаться в зависимости от того, какой тип управления – скалярный или векторный – выбран для ее построения;
- 2) с учетом нелинейности и многомерности АД как объекта управления, даже в рамках одного типа СУ в зависимости от координат, выбранных для регулирования, структура и типы регуляторов будут отличаться;
- 3) существует большое многообразие методов автоматического управления, которые могут применяться для оптимизации асинхронного электропривода по потерям.
- 4) результат, полученный в ходе оптимизации, даже с применением одинаковых подходов, может значительно варьироваться при выборе различных критериев оценки энергоэффективности.

Рассматривая полученные результаты с точки зрения применения таких подходов для организации энергооптимального управления электроприводами ГМ можно отметить следующие основные моменты:

- 1) скалярные СУ, независимо от применяемых в них регуляторов, осуществляют энергетическую оптимизацию в недостаточной мере для ГМ, поскольку не обеспечивают полного контроля за переменными состояниями АД, а в силу невысоких динамических показателей регулирования механических координат, условия резкопеременных нагрузок исключают их применение;
- 2) среди векторных СУ предпочтение следует отдавать тем, которые не имеют в своем составе поисковых регуляторов, поскольку поисковый подход изначально предполагает инерционность управления, что в условиях резкопеременных нагрузок недопустимо;
- 3) векторные СУ с аналитическими или интеллектуальными регуляторами для обеспечения эффективности функционирования в условиях работы ГМ должны учитывать нелинейный характер магнитной цепи АД, обеспечивать минимизацию суммарных потерь, как в электродвигателе, так и в ПЧ, и иметь быстроедействие, позволяющее оптимизировать работу электропривода в условиях резкопеременных нагрузок.

К сожалению, среди рассмотренных работ нет ни одной в полной мере удовлетворяющей перечисленным условиям. Несмотря на распространенность решения задачи оптимизации с учетом нелинейных свойств АД, вопрос минимизации потерь в переходных процессах с обеспечением требуемого быстрогодействия в настоящий момент исследован недостаточно. Исходя из этого, поиск способов управления, обеспечивающих повышение эффективности асинхронных электроприводов горных машин, представляет собой важную задачу, особенно, учитывая наблюдаемую интенсификацию процесса внедрения частотно-регулируемых электроприводов в машины горнодобывающего производства.

Обзор имеющихся технологических решений

Обзор имеющихся технологических решений в области средств повышения энергоэффективности асинхронных электроприводов горных машин выполнен в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96. Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения. Регламент патентного поиска приведен в приложении А, результаты патентного поиска – в приложении Б.

Согласно регламенту все результаты поиска были распределены на пять категорий. Результаты {1} представляют собой совокупность найденных технологических решений относящихся непосредственно к управлению ГМ с точки зрения технологии горнодобывающего производства.

В {2} отнесены результаты, касающиеся регулируемых электроприводов непосредственно ГМ, как явно обозначенные в названии, так и те изобретения, для которых авторами в области применения указывалось, что изобретение «может быть использовано в электроприводах горных машин».

В группу {3} объединены заявки и патенты на изобретения и полезные модели, касающиеся управления электроприводом на базе асинхронного двигателя, но не

предполагающие частотное регулирование. Результаты, относящиеся к частотно-регулируемым асинхронным электроприводам, но не предусматривающие оптимизацию режима работы по энергоэффективности, обобщены в {4}.

Совокупность результатов, описывающих способы и устройства повышения энергоэффективности в электроприводе в целом, обобщена в {5}, причем в эту совокупность не вносились результаты, относящиеся к оптимизации СУ частотно-регулируемых ЭП. Последние обобщены в {6}.

Учитывая представительный суммарный объем обработанных патентных документов (всего 162), их высокую ретроспективность (24 года), наличие достаточного объема документов в рамках каждой из пяти категорий согласно регламенту, можно сделать вывод, что выполненные патентные исследования соответствуют заданию на их проведение, а полученные результаты являются достоверными.

Анализируя качественный состав выделенных групп объектов интеллектуальной собственности необходимо отметить, что общие тенденции развития регулируемого асинхронного электропривода горных машин, а также энергосбережения в области асинхронных электроприводов, которые были определены в ходе патентного поиска, повторяют по своей сути результаты анализа научных информационных источников.

Так в {1} практически половина результатов для повышения надежности функционирования ГМ (например, горного комбайна) содержит частотно-регулируемый асинхронный привод. Непосредственно регулирование электропривода ГМ с применением ПЧ, согласно {2}, используется в 80 % результатов.

Варианты асинхронного электропривода представлены в {3} в полном объеме. Здесь встречается электропривод с ТРН для осуществления пуска; электроприводы с бесконтактными симисторными пускателями для осуществления пуска, торможения и реверса; электропривод с дополнительными конденсаторами для осуществления торможения; асинхронные электроприводы с фазным ротором и прямым включением в сеть статора; различного принципа действия устройства управления и защиты, применяемые в асинхронных электроприводах. Характерно, что последние занимают порядка 40 % всех найденных результатов, таким образом, задачи управления режимами работы асинхронного электропривода без применения ПЧ решаются немногим более чем в половине работ этой группы, хотя суммарный объем найденных результатов по группе {4} на 15 % превосходит {3}.

Качественный состав {4} показывает большую распространенность частотно-регулируемых электроприводов имеющих векторные СУ. Среди основных решаемых задач преобладают задачи повышения быстродействия регулирования и исключения из структуры СУ датчиков электромагнитных или механических координат.

Учитывая актуальность применения мер по энергосбережению для всего промышленного комплекса в целом, включая энергосбережение средствами электропривода, группа {5} представлена так же широко, как группа {3}, и сопоставима по объему с {4}. В нее входят результаты, представляющие устройства, замещающие собой средства регулирования электропривода имеющие завышенное энергопотребление (например, резисторы); варианты конструкций двигателя, обеспечивающие большую энергоэффективность в широком диапазоне нагрузок; устройства, обеспе-

чивающие компенсацию реактивной мощности; конструкции электрических преобразователей, обеспечивающие подачу на статор двигателя нелинейных сигналов, форма которых способствует улучшению гармонического состава и снижению потерь двигателя.

В силу неполной насыщенности производства частотно-регулируемыми электроприводами традиционного исполнения, которые позволяют реализовать экономию электроэнергии по причине рационализации технологических режимов, группа {6} количественно уступает {5} в четыре раза. По качественному составу в {6} практически в равных долях представлены результаты предполагающие энергетическую оптимизацию частотно-регулируемых электроприводов, как применением скалярных СУ, так и векторных.

Поводя общий итог можно сделать следующие выводы:

- применение частотно-регулируемых асинхронных двигателей горных машин относится к категории интеллектуально значимых результатов;
- среди разновидностей частотно-регулируемых электроприводов преимуществами обладают электроприводы с векторными СУ;
- энергетическая оптимизация частотно-регулируемых асинхронных электроприводов с векторными СУ с высокой вероятностью даст охранный результат.

Результаты, отобранные в ходе патентных исследований, могут быть использованы при выполнении последующих этапов по проекту «Разработка энергоэффективных средств управления электроприводами горных машин с учетом особенностей динамических режимов их работы в рамках создания энергосберегающих систем распределения и потребления электроэнергии» в области устройств защиты и устройств компенсации реактивной мощности.

В целом ни один из найденных патентных документов не ограничивает разработку энергооптимального частотно-регулируемого асинхронного ЭП для горных машин. В связи с чем, разработка способов и создание устройств для такого ЭП послужит результатом, обладающим энергоэффективностью и конкурентоспособностью в области электроприводов ГМ.

Заключение

Научно-технический отчет представляет собой результаты обзора научных информационных источников и имеющихся технологических решений в области проекта «Разработка энергоэффективных средств управления электроприводами горных машин с учетом особенностей динамических режимов их работы в рамках создания энергосберегающих систем распределения и потребления электроэнергии».

По результатам анализа указанных информационных источников можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Вопросы создания энергоэффективных систем управления электроприводов, обеспечивающих энергосбережение за счет использования резервов самого двигателя, применительно к ГМ проработаны недостаточно полно.
2. Решение данного вопроса лежит в области применения нелинейных систем управления частотно-регулируемым асинхронным двигателем.
3. Для СУ частотно-регулируемым электроприводом должна проводиться энергетическая оптимизация с использованием векторного подхода.

Список использованных источников

1. Бабокин Г.И. Частотно-регулируемый электропривод механизмов подачи очистных комбайнов / Г.И. Бабокин, Е.Б. Колесников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2004. – №3. – С. 330-331.
2. Довгань С.М. Улучшение динамических характеристик скиповых подъемных установок средствами электропривода / С.М. Довгань, А.А. Самойленко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2004. – № 10. – С. 290-293.
3. Волошин С. Электропривод – просто, как «раз, два, три». Часть 2. Асинхронный электропривод // Компоненты и технологии – 2004. – № 6. – С. 120-126.
4. Сташинов Ю.П. Адаптивный привод шахтных электровозов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2004. – № 10. – С. 294-296.
5. Утегулов Б.Б. Разработка устройства автоматического регулирования двухдвигательным асинхронным электроприводом с применением двунаправленных регистров сдвига / Б.Б. Утегулов, В.П. Марковский, С.С. Исенов // Вестник ЮУрГУ. – 2009. – № 34. – С. 73-77.
6. Брейдо И.В. Карагандинская научная школа радиотелеуправляемого тиристорного электропривода горных подземных машин / Автоматика. Информатика. – 2000. – Т. 1-2. – С. 35-38.
7. Бабокин Г.И. Автоматизированный электропривод конвейеров / Г.И. Бабокин, В.И. Шуцкий, Т.В. Насонова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2003. – № 10. – С. 240-241.
8. Вишневецкий В.И. Адаптивный скользящий наблюдатель скорости для бездатчикового асинхронного электропривода / В.И. Вишневецкий, С.А. Лазарев, П.В. Митюков // Вестник Чувашского университета. – 2010. – № 3. – С. 213-222.
9. Аникин А.С. Внедрение частотно-регулируемого асинхронного электропривода на шахтный самоходный вагон В15К // Вестник ЮУрГУ. – 2009. – № 15. – С. 67-71.
10. Космодамианский А.С. Асинхронный электропривод с поворотным статором для вспомогательных механизмов локомотивов // А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, А.А. Пугачев, А.Д. Хохлов // Наука и техника транспорта. – 2008. – № 4. – С. 82-86.
11. Космодамианский А.С. Дифференциальные уравнения динамики электромагнитных процессов в регулируемом асинхронном электроприводе с поворотным статором // А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, А.А. Пугачев // Наука и техника транспорта. – 2008. – № 3. – С. 50-54.
12. Селиванов И.А. Инновационные разработки ГОУ ВПО «МГТУ» в области создания высокодинамичных и энергосберегающих электроприводов / И.А. Селиванов, С.И. Лукьянов, А.С. Карандаев, А.С. Сарваров // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. – 2009. – № 2. – С. 42-48.
13. Малиновский А.К. Исследование режима одновременного действия электрического и механического тормозов при аварийной остановке шахтной подъемной

машины / А.К. Малиновский, А.Т. Мазлум // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2006. – № 3. – С. 66-70.

14. Смирнов А.О. Исследование статических режимов работы частотно-управляемого асинхронного электропривода в условиях низких температур / А.О. Смирнов, С.В. Ланграф, В.С. Казаков, Р.Ф. Бекишев // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 315. № 4 С. 61-64.

15. Малиновский А.К. К вопросу повышения эффективности аварийного торможения шахтных подъемных машин / А.К. Малиновский, А.Т. Мазлум // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2009. Т. 8. № 12. С. 122-130.

16. Малв Н.А. Контроль качества функционирования электроприводов с цифро-аналоговым управлением / Н.А. Малв, О.В. Погодицкий, Н.К. Андреев // Проблемы энергетики. – 2006. – № 1-2. – С. 60-64.

17. Кривенков М.В. Нечеткий регулятор скорости в частотно-управляемом асинхронном электроприводе / М.В. Кривенков, А.Н. Пахомов, В.И. Иванчура // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2007. – № 3. – С. 100-103.

18. Однокопылов Г.И. Повышение живучести частотно-регулируемого асинхронного электропривода / Г.И. Однокопылов, И.Г. Однокопылов // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 7. – С. 143-148.

19. Мугалимов Р.Г. Концепция повышения энергоэффективности асинхронных двигателей и электроприводов на их основе // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. 2011. № 1. С. 59-63.

20. Губайдуллин А.Р. Разработка электроприводов волоочильных станов на основе энергосберегающих асинхронных двигателей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2009. – 20 с.

21. Мугалимова А.Р. Электропривод насосного агрегата на основе энергосберегающего асинхронного двигателя: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2010. – 20 с.

22. Мугалимов Р.Г. Энергосберегающий электропривод на основе асинхронного двигателя с индивидуальной компенсацией реактивной мощности: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Магнитогорск, 2011. – 40 с.

23. Ребенков Е.С. Система управления электроприводом конвейера / Е.С. Ребенков, Г.И. Бабокин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – Т. 8. – № 12. – С. 327-329.

24. Муравлева О.О. Совершенствование асинхронных двигателей для регулируемого электропривода / О.О. Муравлева, П.В. Тютеева // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 310. – № 2. – С. 177-181.

25. Жидков А.М. Электропривод барабанных шахтных подъемных машин / А.М. Жидков, О.И. Осипов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2008. – № 11. – С. 48-51.

26. Дацковский Л.Х. Совершенствование электропривода шахтных подъемных машин / Л.Х. Дацковский, А.М. Жидков, И.А. Кузьмин, А.Э. Любимов, Б.М. Распопов // Горный журнал. – 2008. – № 10. – С. 73-77.
27. Малиновский А.К. Электропривод горных машин с высокоэкономичным тормозным режимом / А.К. Малиновский, П.И. Шелков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 1998. – № 1. – С. 77-78.
28. Валов А.В. Энергетические показатели импульсно-векторного управления асинхронным электроприводом с фазным ротором // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2008. – № 11. – С. 57-59.
29. Усынин Ю.С. Асинхронный электропривод с импульсно векторным управлением / Ю.С. Усынин, А.В. Валов, Т.А. Козина // Электротехника. – 2011. – № 3. – С. 15-19.
30. Соболев В.В. Энергосбережение электроприводов главного проветривания горнодобывающих предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – № 7. – С. 391-395.
31. Муравлева О.О. Энергоэффективные асинхронные двигатели для регулируемого электропривода // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 7. – С. 135-139.
32. Сарваров А.С. Энергосберегающий электропривод вентиляторных механизмов по системе НПЧ-АД с программным формированием напряжения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Челябинск, 2002. – 36 с.
33. Бабокин Г.И. Развитие теории, методы и средства управления и защиты электромеханических систем горных машин с преобразователями частоты: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1996. – 35 с.
34. Филюшов Ю.П. Многокритериальная оптимизация работы электропривода переменного тока: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2007. – 18 с.
35. Корчагина В. А. Разработка и исследование частотного асинхронного электропривода с системой управления углом между векторами тока статора и тока намагничивания: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Липецк, 2009. – 18 с.
36. Нос О.В. Разработка и оптимизация алгоритмов управления асинхронным электроприводом на основе метода непрерывной иерархии: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 1999. – 19 с.
37. Соломатин А.А. Синхронизированный асинхронный электропривод с частотным управлением: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Липецк, 2006. – 18 с.
38. Котин Д.А. Адаптивные алгоритмы бездатчикового векторного управления синхронными электроприводами подъемно-транспортных механизмов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2010. – 20 с.
39. Малиновский А. К. Развитие теории, методов и средств управления электроприводом переменного тока с противо-ЭДС в цепи ротора: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2001. – 35 с.
40. Граев В.А. Исследование и разработка системы управления электроприводом исполнительного органа выемочного комбайна с частотно-регулируемым асинхронным двигателем: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 1975. – 25 с.

41. Грасс В. А. Развитие и разработка системы управления электроприводом исполнительного органа выемочного комбайна с частотно-регулируемым асинхронным двигателем: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 1975. – 24 с.
42. Иванов В. Л. Исследование и разработка частотноуправляемого электропривода забойных машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 1974. – 28 с.
43. Ещин Е. К. Исследование условий эффективного использования частотноуправляемого электропривода забойных машин с целью улучшения их динамики: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 1975. – 19 с.
44. Гаврилов П. Д. Динамика тягового органа скребкового конвейера со случайным возмущением на стыках / П. Д. Гаврилов, Г. И. Перминов, Н. Р. Масленников // Автоматизация и электрификация в горной промышленности: межвуз. сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1973. – С. 178-185.
45. Гаврилов П. Д. Влияние запаздывания гистерезисного характера сил сопротивления движению на возникновение автоколебаний в тяговом органе конвейера / П. Д. Гаврилов, Г. И. Перминов, Н. Р. Масленников // Автоматизация и электрификация в горной промышленности: межвуз. сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1973. – С. 185-190.
46. Перминов Г. И. Влияние характеристик привода на возникновение и амплитуду автоколебаний в тяговом органе конвейера / Г. И. Перминов, Б. А. Лабковский, П. Д. Гаврилов, Н. Р. Масленников // Автоматизация и электрификация в горной промышленности: межвуз. сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1973. – С. 190-195.
47. Микитченко А. Я. Энергетическая эффективность регулирования в тиристорных и транзисторных электроприводах экскаваторов / А. Я. Микитченко, А. Н. Шевченко, Ю. А. Бирюков, П. Р. Шестаков // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 5. – С. 24-31.
48. Портной Т. З. Современное состояние и направления развития электротехнических комплексов однокавшовых экскаваторов / Т. З. Портной, Б. М. Парфенов, А. И. Коган. – М.: Знак, 2002. – 114 с.
49. Микитченко А. Я. Трудности перехода систем управления однокавшовых экскаваторов на переменный ток / А. Я. Микитченко, А. Н. Шевченко, Д. Е. Насырев // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника в металлургической и горно-топливной отраслях: Труды третьей Всероссийской научно-практической конференции, 16-18 мая 2006. – Новокузнецк: СибГИУ, 2006. – С. 57-58.
50. Вареник Е. А. Перспективы развития электропривода и электроснабжения для угольных шахт и рудников / Е. А. Вареник и др. // Электротехника. – 2004. – № 12. – С. 46-51.
51. Брейдо И. В. Перспективы развития автоматизированного электропривода машин и установок угольных шахт // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2004: Материалы X Международной научно-практической конференции, 23-24 нояб. 2004. – Кемерово: КузГТУ, 2004. – С. 237-239.
52. Каширских В. Г. Устройство автоматической защиты и диагностики электроприводов экскаваторов / В. Г. Каширских, П. Д. Гаврилов, А. Е. Медведев // Горные машины и автоматика. – 2002. – № 9. – С. 40-43.

53. Филимонов С. Г. Управление ресурсом горных машин // Современные пути развития машиностроения и автотранспорта Кузбас-са: Труды I Всероссийской научно-технической конференции, 24-25 октября 2007. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2007. – С. 376-380.
54. Гаврилов П. Д. Автоматизированный электропривод горных машин: уч. пособие. – Кемерово: КузПИ, 1983. – 72 с.
55. Гаврилов П. Д. Снижение уровня динамической нагруженности скребкового конвейера при помощи асинхронного электропривода / П. Д. Гаврилов, Е. К. Ещин // Изв. вузов. Горный журнал. – 1978. – № 11. – С. 99-105.
56. Каширских В. Г. Управление пуском одноприводного скребкового конвейера / В. Г. Каширских, С. С. Переверзев // Вестн. Куз-ГТУ. – 2005. – № 5. – С. 79-82.
57. Ещин Е. К. О приводе поворота экскаватора-драглайна ЭШ-10/70 / Е. К. Ещин, В. И. Янцен, Ю. Г. Кузечев, Б. С. Никешин // Управление электромеханическими объектами в горной промышленности: сб. науч. тр. – Кемерово: КузГТУ, 1982. – С. 112-118.
58. Филимонов С.Г. Ограничение нагрузок электромеханических систем экскаватора по критерию ресурсоемкости функционирования: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 1986. – 143 с.
59. Терехов Н. И. Математическое моделирование и исследование буровой установки и процесса бурения как объекта управления / Н. И. Терехов, И. С. Аврамов, П. Д. Гаврилов // Электропривод и автоматизация производственных процессов в горной промышленности: сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1974. – С. 114-122.
60. Терехов Н. И. Регулирование и управление режимами бурения взрывных скважин / Н. И. Терехов, И. С. Аврамов, П. Д. Гаврилов, П. Н. Кунинин. – Л.: Недра, 1980. – 223 с.
61. Гаврилов П. Д. К вопросу защиты добычных комбайнов от экс-тренных перегрузок / П. Д. Гаврилов, В. А. Грасс, Г. И. Ивонин, Е. К. Ещин // Автоматизация и электрификация в горной промышленности: межвуз. сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1973. – С. 211-219.
62. Гаврилов П. Д. Релейное устройство защиты горных машин от динамических перегрузок / П. Д. Гаврилов, В. А. Грасс, Е. К. Ещин, Г. И. Ивонин Е. К. Ещин // Электропривод и автоматизация производственных процессов в горной промышленности: сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1974. – С. 26-31.
63. Гаврилов П. Д. Автоматизированный электропривод горных и транспортных машин. Специальные главы. Кемерово: КузПИ, 1976. – 63 с.
64. Гаврилов П. Д. Эффективность защиты горных машин от экс-тренных перегрузок с помощью электрического торможения ротора / П. Д. Гаврилов, Е. К. Ещин, В. И. Янцен // Управление электромеханическими объектами в горной промышленности: межвуз. сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1980. – С. 100-112.
65. Гаврилов П. Д. О стабилизации регулируемого параметра при переменных возмущениях / П. Д. Гаврилов, Е. К. Ещин // Автоматизация и электрификация в горной промышленности: межвуз. сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1973. – С. 202-207.

66. Ещин Е. К. Динамические процессы электромеханических систем горных машин в режимах пуска и стопорения: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Екатеринбург, 1996. – 36 с.
67. Ещин Е. К. Теория предельных режимов работы горных машин. – Томск: ТГУ, 1995. – 232 с.
68. Гаврилов П. Д. Управление частотно-регулируемым асинхронным электроприводом машин с пульсирующей нагрузкой / П. Д. Гаврилов, Е. К. Ещин // Электротехника. – 1976. – № 2. – С. 58-59.
69. Гаврилов П. Д. Частотное управление асинхронным электродвигателем / П. Д. Гаврилов, Е. К. Ещин // Электротехника. – 1978. – № 7. – С. 20-23.
70. Гаврилов П. Д. Общая задача оптимизации частотного управления асинхронным электродвигателем / П. Д. Гаврилов, Е. К. Ещин // Изв. вузов. Электромеханика. – 1979. – № 6. – С. 541-545.
71. Ещин Е. К. Управляемый электропривод горных машин // Управление электромеханическими объектами в горной промышленности: сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1984 – С. 78-81.
72. Каширских В. Г. Управление динамикой пуска нерегулируемых асинхронных электроприводов горных машин / В. Г. Каширских, С. С. Переверзев // Вестн. КузГТУ. – 2005. – № 2. – С. 33-35.
73. Каширских В. Г. Сравнительный анализ способов плавного пуска асинхронных электроприводов горных машин / В. Г. Каширских, С. С. Переверзев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 10. – С. 308-311.
74. Переверзев С. С. Управление режимами пуска асинхронных электроприводов горных и транспортных машин: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2006. – 174 с.
75. Янцен В. И. Минимизация динамических нагрузок в передаточных устройствах электроприводов горных машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Свердловск, 1986. – 23 с.
76. Гаврилов П. Д. Исследование температурного поля взрывобезопасной оболочки тиристорного преобразователя / П. Д. Гаврилов, В. Г. Каширских // Электропривод и автоматизация производственных процессов в горной промышленности: сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1974. – С. 31-36.
77. Гаврилов П. Д. Определение параметров схемы размещения источников тепла в плоскости теплоотводящей поверхности / П. Д. Гаврилов, В. Г. Каширских // Электропривод и автоматизация производственных процессов в горной промышленности: сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1974. – С. 37-43.
78. Каширских В. Г. Испарительное охлаждение силовых полупроводниковых вентилях / В. Г. Каширских, Г. И. Ивонин // Совершенствование систем электропитания и электропривода горных предприятий: сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1990. – С. 98-100.
79. Каширских В. Г. Исследование систем охлаждения и вопросы проектирования оптимальных конструкций взрывобезопасных тиристорных преобразователей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 1975. – 25 с.
80. Гаврилов П. Д. Результаты шахтных исследований комплексной модели износа выемочных комбайнов / П. Д. Гаврилов и др. // Электропривод и автоматизация

производственных процессов в горной промышленности: сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1974. – С. 163-168.

81. Медведев А. Е. Микропроцессорный контроль усталостных повреждений в элементах трансмиссии главных электроприводов экскаватора / А. Е. Медведев, Ю. М. Шефкинд, П. Д. Гаврилов, В. Г. Каширских // Электрификация и автоматизация горных работ: сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1992. – С. 64-71.

82. Медведев А. Е. Совершенствование средств защит главных электроприводов карьерных экскаваторов / А. Е. Медведев, Ю. М. Шефкинд // Электрификация и автоматизация горных работ: сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1992. – С. 72-77.

83. Медведев А. Е. К вопросу измерения механических напряжений в элементах трансмиссии экскаваторных электроприводов // Совершенствование систем электроснабжения и электропривода горных предприятий: сб. науч. тр. – Кемерово: КузПИ, 1990. – С. 126-131.

84. Каширских В. Г. Совершенствование автоматического контроля и защиты электроприводов карьерных экскаваторов / В. Г. Каширских, А. Е. Медведев // Известия вузов. Горный журнал. – 2000. – № 5. – С. 132-135.

85. Волков Д.В. Асинхронный частотно-регулируемый привод шахтного электровоза с автоматическим выравниванием нагрузок тяговых двигателей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 2010. – 16 с.

86. Боченков Д.А. Энергосберегающее регулирование режимов работы главных водоотливных установок шахт и рудников средствами электропривода: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 2010. – 19 с.

87. Иванов А.С. Разработка нелинейной системы управления нагрузкой электропривода резания проходческого комбайна: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новокузнецк, 2010. – 20 с.

88. Безденежных Д.В. Разработка и исследование электропривода на базе машины двойного питания с подключением обмоток статора и ротора к преобразователям частоты»: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 2010. – 18 с.

89. Каверин В.В. Характеристики регулируемого асинхронного электропривода горных машин в режиме динамического торможения // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 3. – С. 19-24.

90. Крутиков К.К. Применение многофункциональных силовых активных фильтров в составе мощного частотно-регулируемого электропривода / К.К. Крутиков, В.В. Рожков // Электричество. – 2011. – № 2. – С. 32-38.

91. Белов М.П. Автоматизированный электропривод – современная основа автоматизации технологических процессов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов, А.А. Сушников // Электротехника. – 2003. – № 5. – С.12-16.

91. Боченков Б.М. Алгоритм управления, обеспечивающий желаемое сочетание энергетических и динамических свойств электропривода переменного тока / Б.М. Боченков, Ю.П. Филюшов // Электротехника. – 2006. – № 11. – С. 53-61.

92. Хашимов А.А. Исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода с реализацией способа управления по модулю тока статора двигателя / А.А. Хашимов, Н.М. Арипов // Электротехника. – 2002. – № 1. – С. 14-19.

93. Браславский И.Я. Синтез нейронного наблюдателя для асинхронного привода с прямым управлением моментом / И.Я. Браславский, А.М. Зюзев, З.Ш. Ишматов, М.А. Аверьянов, Е.И. Барац, А.В. Костылев // *Электротехника*. – 2001. – № 12. – С. 31-34.

94. Виноградов А.Б. Адаптивная система векторного управления асинхронным электроприводом / А.Б. Виноградов, В.Л., Чистосердов, А.Н. Сибирцев // *Электротехника*. – 2003. – № 7. – С. 7-17.

95. Тюков В.А. Оптимизация обмоток частотно-регулируемых асинхронных двигателей // *Электротехника, электромеханика и электротехнологии ЭЭЭ-2007: материалы третьей научно-технической конференции с международным участием, 25-26 октября 2007*. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – С 11-14.

96. Поляков В.Н. Динамика электропривода с асинхронизированным синхронным двигателем при оптимизации режимов по минимуму тока статора // В.Н. Поляков, О.С. Сусенко, М.Ю. Бородин // *Электротехника, электромеханика и электротехнологии ЭЭЭ-2007: материалы третьей научно-технической конференции с международным участием, 25-26 октября 2007*. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – С 38-43.

97. Панкратов В.В. Оптимальное управление моментом асинхронного двигателя на основе метода непрерывной иерархии каналов регулирования // *Электротехника, электромеханика и электротехнологии ЭЭЭ-2007: материалы третьей научно-технической конференции с международным участием, 25-26 октября 2007*. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – С 44-50.

98. Takahashi I. A new quick response and high efficiency control strategy of an induction motor / I. Takahashi, T. Noguchi // *IEEE Trans. Ind. Applicat.* – Sept., Oct. 1986. – Vol. 22. – P. 820-827.

99. Buja G.S. Direct Torque Control of PWM Inverter-Fed AC Motors – A Survey / G.S. Buja, M.P. Kazmierkowski // *IEEE Trans. Ind. Electron.* – Aug., 2004. – Vol. 51. – № 4. – P. 744-757.

100. Habetler T.G. Direct torque control of induction machines using space vector modulation / T.G. Habetler, F. Profumo, M. Pastorelli, L.M. Tolbert // *IEEE Trans. Ind. Applicat.* – Sept., Oct., 1992. – Vol. 28. – P. 1045-1053.

101. Casadei D. Implementation of a direct torque control algorithm for induction motors based on discrete space vector modulation / D. Casadei, G. Serra, A. Tani // *IEEE Trans. Power Electron.* – July, 2000. – Vol. 15. – P. 769-777.

102. Idris N. Direct Torque Control of Induction Machines With Constant Switching Frequency and Reduced Torque Ripple / N. Idris, A. Yatim // *IEEE Trans. Ind. Electron.* – Aug., 2004. – Vol. 51. – № 4. – P. 758-767.

103. Lascu C. A modified direct torque control for induction motor sensorless drive / C. Lascu, I. Boldea, F. Blaabjerg // *IEEE Trans. Ind. Applicat.* – Jan., Feb., 2000. – Vol. 36. – P. 122-130.

104. Lascu C. A Sensorless Hybrid DTC Drive for High-Volume Low-Cost Applications / C. Lascu, A.M. Trzynadlowski // *IEEE Trans. Ind. Electron.* – Oct., 2004. – Vol. 51. – № 5. – P. 1048-1055.

105. Naassani A.A. Synthesis of Direct Torque and Rotor Flux Control Algorithms by Means of Sliding-Mode Theory / A.A. Naassani, E. Monmasson, J.-P. Louis // IEEE Trans. Ind. Electron. – June, 2005. – Vol. 52. – № 3. – P. 785-799.
106. Панкратов В.В. Синтез оптимальных алгоритмов управления многосвязным динамическим объектом «в большом» методом непрерывной иерархии // Изв. вузов. Электромеханика. –1996. – № 1-2. – С. 58-65.
107. Панкратов В.В. Метод синтеза многосвязных автоматических систем с ограниченной нормой вектора управляющих воздействий и его применение в задачах электропривода // Мехатроника. – 2000. – № 5. – С. 32-41.
108. Завьялов В.М. Многокритериальное управление асинхронным электроприводом / В.М. Завьялов, А.А. Неверов, И.Ю. Семькина // Вестн. КузГТУ. – 2005. – №1 – С.81-84.
109. Завьялов В.М. Энергооптимальное управление скоростью асинхронного электропривода / В.М. Завьялов, И.Ю. Семькина // Вестн. КузГТУ. – 2005. – №4-2 – С.21-23.
110. Семькина И.Ю. Сравнительный анализ систем регулирования угловой скорости асинхронного электродвигателя / И.Ю. Семькина, В.М. Завьялов // Вестн.КузГТУ. – 2005. – №6. – С. 61-66.
111. Стародуб А.В. Реализация системы регулирования угловой скорости асинхронного электродвигателя на основе метода скоростного градиента / А.В. Стародуб, И.Ю. Семькина // Вестн.КузГТУ. – 2005. – №6. – С. 69-72.
112. Завьялов В.М. Использование метода скоростного градиента в задаче синтеза систем управления асинхронными электроприводами / В.М. Завьялов, И.Ю. Семькина // Электротехнические преобразователи энергии: материалы международной научно- технической конференции, 20-22 октября 2005. – Томск: ТПУ, 2005. – С. 233-236.
113. Семькина И.Ю. Исследование динамических свойств нелинейного регулятора момента асинхронного двигателя / И.Ю. Семькина, А.Н. Шариков // Современные техника и технологии: материалы XII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 27-31 марта 2006. – Томск: ТПУ, 2006. – Т.1. – С. 287-289.
114. Семькина И.Ю. Применение нечеткой логики в задаче регулирования угловой скорости исполнительных органов горных машин / И.Ю. Семькина, В.М. Завьялов // Вестн. КузГТУ. – 2006. – №3. – С. 80-83.
115. Семькина И.Ю. Повышение эффективности подавления упругих колебаний в элементах трансмиссии горных машин / И.Ю. Семькина, В.М. Завьялов, И.А. Куприянов // Вестн. КузГТУ. – 2006. – №4. – С. 83-85.
116. Завьялов В.М. Подавление упругих колебаний в горных машинах с асинхронным электроприводом / В.М. Завьялов, И.Ю. Семькина // Электротехнические системы и комплексы: межвузовский сб. науч. тр. Вып. 12. – Магнитогорск: МГТУ, 2006. – С. 247-252.
117. Завьялов В.М. Безынерционный источник момента на базе асинхронного электропривода / В.М. Завьялов, И.Ю. Семькина // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника в металлургической и горно-топливной отрас-

лях: труды третьей всероссийской научно-практической конференции, 16-18 мая 2006. – Новокузнецк: СибГИУ, 2006 г. – С. 121-124.

118. Завьялов В.М. Новый подход к построению высокоэффективных систем управления для электроприводов горных машин / В.М. Завьялов, И.Ю. Семькина // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей. – Новокузнецк: СибГИУ, 2007. – С. 206-209.

119. Завьялов В.М. Использование безынерционного источника момента в системах управления электроприводов со сложными механическими подсистемами / В.М. Завьялов, И.Ю. Семькина // Электротехника, электромеханика и электротехнологии ЭЭЭ-2007: материалы третьей научно-технической конференции с международным участием, 25-26 октября 2007. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – С. 69-72.

120. Завьялов В.М., Семькина И.Ю. Повышение эффективности электроприводов горных машин // Электромеханические преобразователи энергии: материалы международной научно-технической конференции, 17-19 октября 2007. – Томск: ТПУ, 2007. – С. 293-295.

121. Zavyalov V.M. Raising efficiency of mining machines by improvement of electric drives / V.M. Zavyalov, I.Yu. Semykina // Advances in geotechnical and structural engineering: proceedings of fifth China-Russia symposium on underground and building engineering of city and mine, 26-28 September 2008. – Qingdao, China: China University of Mining and Technology Press. – P. 445-448.

122. Лапина О.А. Управление электромагнитным моментом асинхронного двигателя на базе общепромышленного преобразователя частоты / О.А. Лапина, В.М. Завьялов, И.Ю. Семькина // Современные техника и технологии: сборник трудов XV международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых, 4-8 мая 2009. – Томск: ТПУ, 2009. – С. 434-436.

123. Субботин С. А. Особенности технической реализации скалярного градиентного управления / С. А. Субботин, В.М. Завьялов, И.Ю. Семькина // Современные техника и технологии: сборник трудов XV международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых, 4-8 мая 2009. – Томск: ТПУ, 2009. – С. 482-484.

124. Семькина И.Ю. Градиентное управление процессом электромеханического преобразования энергии / И.Ю. Семькина, В.М. Завьялов // Электромеханические преобразователи энергии: материалы IV Международной научно-технической конференции, 13-16 октября 2009 г. – Томск: ТПУ, 2009. – С. 203-206.

125. Семькина И.Ю. Градиентное управление многодвигательным асинхронным электроприводом / И.Ю. Семькина, В.М. Завьялов, М.А. Глазко // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 4. – С. 65-69.

126. Семькина И.Ю. Градиентное управление моментом асинхронного двигателя на базе общепромышленного преобразователя частоты / И.Ю. Семькина, В.М. Завьялов // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: труды VII Всероссийской научно-практической конференции, 12-14 ноября 2009 г. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – С. 241-246.

127. Семькина И.Ю. Градиентное управление в решении основных задач электропривода // Вестн. КузГТУ. – 2010. – №1 – С. 99-103.

128. Семькина И.Ю. Энергооптимальное градиентное управление электроприводом // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника в образовании, науке и производстве: труды IV Всероссийской научно – практической конференции, 12-15 октября 2010. – Новокузнецк: СибГИУ, 2010. – С. 148-151.

129. Нос О.В. Оптимальное векторное управление асинхронным двигателем по критерию минимума токов статора // Электротехника, электромеханика и электротехнологии ЭЭЭ-2007: материалы третьей научно-технической конференции с международным участием, 25-26 октября 2007. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – С 79-85.

130. Вылцан А. С. Синтез и оптимизация алгоритмов векторного управления асинхронным двигателем при питании от регулируемого источника токов или напряжений / А. С. Вылцан, О. В. Нос // Электротехника, электромеханика и электротехнологии ЭЭЭ-2007: материалы третьей научно-технической конференции с международным участием, 25-26 октября 2007. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – С 97-103.

131. Нос О.В. Математические модели преобразования энергии в асинхронном двигателе: учеб. пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2008. – 168 с.

132. Денисов В.Н. Преобразование координат и анализ параметрических свойств электрических машин / В.Н. Денисов, С.П. Курилин // Электричество. – 2007. – №6. – С. 45-49.

133. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1990. – 304 с.

134. Нос О.В. Уравнения баланса мощности в математических моделях асинхронного двигателя в различных линейных пространствах // Электричество. – 2007. – №8. – С. 43-47.

135. Нос О.В. Математическая модель асинхронного двигателя в линейных пространствах, связанных со статором и ротором // Изв. вузов. Электромеханика. – 2008. – №2. – С. 14-20.

136. Панкратов В.В. Векторное управление асинхронными электроприводами: учеб. пособие. – Новосибирск: НГТУ, 1999. – 66 с.

137. Панкратов В.В. Энергооптимальное векторное управление асинхронными электроприводами: учеб. пособие / В.В. Панкратов, Е.А. Зима. – Новосибирск: НГТУ, 2005. – 120 с.

138. Рудаков В.В. Асинхронные электроприводы с векторным управлением / В.В. Рудаков, И.М. Столяров, В.А. Дартау. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отдние, 1987. – 136 с.

139. Слежановский О.В. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями / О.В. Слежановский, Л.Х. Давцовский, И.С. Кузнецов и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.

140. Христов В.И. Математическая модель асинхронных машин в фазных осях статора // Электротехника. – 2004. – № 7. – С. 24-31.

141. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург, Уральское отделение РАН, 2000. – 654 с.

142. Хэнкок Н. Матричный анализ электрических машин. – М.: Энергия, 1967. – 225 с.
143. Blaschke F. The principle of field orientation as applied to the new trans-vector closed-loop control system for rotating-field machines // Siemens Rev. – May 1972. – Vol. 39. – № 3. – P. 217-220.
144. Костенко М.П. Работа многофазного асинхронного двигателя при переменном числе периодов // Электричество. – 1925. – №2. – С. 85-95.
145. Мищенко В.А. Оптимальный по минимуму потерь закон частотного управления асинхронным двигателем / В.А. Мищенко, Р.Т. Шрейнер, В.А. Шубенко // Изв. вузов. Энергетика. – 1969. – № 8. – С. 115-118.
146. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах. – Чебоксары: Чуваш. ун-т, 1998. – 172 с.
147. Сандлер А.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями / А.С. Сандлер, Р.С. Сарбатов. – М.: Энергия, 1974. – 328 с.
148. Шрейнер Р.Т. Оптимальное частотное управление асинхронными электроприводами / Р.Т. Шрейнер Ю.А., Дмитренко. – Кишинев: Штиинца, 1982. – 224 с.
149. Шубенко В.А. Оптимизация частотно-управляемого асинхронного электропривода по минимуму тока / В.А. Шубенко, Р.Т. Шрейнер, В.А. Мищенко // Электричество. – 1970. – № 9. – С. 23-26.
150. Эпштейн И.И. Автоматизированный электропривод переменного тока. – М.: Энергоиздат, 1982. – 192 с.
151. Попов А.Н. Синергетический синтез законов энергосберегающего управления электромеханическими системами. – Таганрог: ТРТУ, 2003. – 67 с.
152. Ильинский Н. Ф. Энергосбережение в электроприводе /Н. Ф. Ильинский, Ю. В. Рожанковский, А.О. Горнов. – Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства: практ. пособие в 5 кн. – Кн. 2. – М.: Высш. шк. 1989. – 127 с.
153. Виноградов А. Б. Учет потерь в стали, насыщения и поверхностного эффекта при моделировании динамических процессов в частотно-регулируемом асинхронном электроприводе // Электртехника. – 2005. – № 5. – С. 57-62.
154. Ещин Е.К. Общая задача управления асинхронным электродвигателем / Е.К. Ещин, А.В. Григорьев // Изв. вузов. Электромеханика. – 2010. – №1. – С.39-43.
155. А.В. Григорьев. Управление моментом и потоком электрической машины переменного тока // Вестн. КузГТУ. – 2008. – №2. – С.64-67.
156. А.В. Григорьев. Оптимальное управление координатами асинхронного электродвигателя // Вестн. КузГТУ. – 2008. – №6. – С.29-32.
157. Ещин Е.К. Оптимизация управления состоянием асинхронного электродвигателя / Е.К. Ещин, А.В. Григорьев // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2008: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, 15-25 декабря 2008. – Одесса: Черноморье, 2008. – Т. 6. – С.48-50.
158. Григорьев А.В. Решение задачи оптимального управления машиной двойного питания // Современные направления теоретических и прикладных исследований '2009: сборник научных трудов по материалам международной научно-

практической конференции, 16-27 марта 2009. – Одесса: Черноморье, 2009. – Т. 5. – С.21-22.

159. Григорьев А.В. Максимальный момент асинхронного электродвигателя // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий: сборник научных трудов II-ой всероссийской научно-технической конференции, 19-20 марта 2009. – Уфа: УГНТУ, 2009. – Т. 1. – С.207-210.

160. Попов В.И. Современные асинхронные электрические машины: Новая Российская серия РА / В.И. Попов, Т.А. Ахунов, Л.Н. Макаров. – М.: Знак, 1999. – 256 с.

161. Зайцев А.М. Новая серия частотно-регулируемых асинхронных двигателей общего применения разработки ОАО "НИПТИЭМ" / А.М. Зайцев, А.В. Захаров, А.С. Кобелев, О.В. Кругликов // Электротехника. – 2008. – № 9. – С. 2-10.

162. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М.: Академия, 2004. – 256 с.

163. Волков А. В. Оптимальное по минимуму общих потерь управление частотно-регулируемым асинхронным электроприводом с АИН-ШИМ / А. В. Волков, Ю. С. Скалько // Электротехника. – 2008. – № 9. – С. 21-33.

164. Петров Ю.П. Оптимальное управление электрическим приводом с учетом ограничений по нагреву. – Л.: Энергия, 1971. – 144 с.

165. Зима Е. А. Энергооптимальные алгоритмы векторного управления асинхронными электроприводами с улучшенными динамическими характеристиками / Е. А. Зима, В. В. Панкратов // Электроэнергетика, электротехнические системы и комплексы: материалы международной научно-технической конференции, 3-5 сентября 2003. – Томск: ТПУ, 2003. – С 20-22.

166. Поляков В.Н. Оценка эффективности законов частотного управления асинхронным электроприводом по критерию потерь мощности // Электроэнергетика, электротехнические системы и комплексы: материалы международной научно-технической конференции, 3-5 сентября 2003. – Томск: ТПУ, 2003. – С 65-67.

167. Поляков В.Н. Оптимизация установившихся режимов асинхронизированной машины // Электротехнические системы и комплексы: межвузовский сб. науч. тр. Вып. 12. – Магнитогорск: МГТУ, 2006. – С. 130-138.

168. Поляков В.Н. Асинхронные машины как объекты экстремального управления // Электротехника. – 2004. – №9. – С. 46-50.

169. Макаров В.Г. Оптимальное управление токами трехфазного асинхронного двигателя / В.Г. Макаров, В.А. Матюшин // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника в образовании, науке и производстве: труды IV Всероссийской научно – практической конференции, 12-15 октября 2010. – Новокузнецк: СибГИУ, 2010. – С. 113-120.

170. Каширских В.Г. Определение в реальном времени активного сопротивления и потокосцепления ротора асинхронного двигателя при его работе в установившемся режиме / В.Г. Каширских, В.М. Завьялов // Вестн. КузГТУ. – 2003. – №1. – С. 21-24.

171. Завьялов В. М. Оперативная оценка параметров и состояния асинхронных электродвигателей в составе регулируемого электропривода: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2003. – 152 с.
172. Каширских В.Г. Мониторинг состояния электродвигателей горных машин // Уголь. – 2005. – № 9. – С. 37-39.
173. Нестеровский А.В. Использование демпфирования и искусственной нейронной сети для определения потокосцепления статора асинхронного двигателя / А.В. Нестеровский, В.Г. Каширских // Вестн. КузГТУ. – 2007. – № 1. – С. 41-43.
174. Каширских В.Г. Автоматизированный испытательный комплекс для идентификации параметров асинхронных электродвигателей горных машин / В.Г. Каширских, В.М. Завьялов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2004. – № 6. – С. 299-302.
175. Каширских В.Г. Структура системы функциональной диагностики электроприводов карьерных экскаваторов / В.Г. Каширских, А.Н. Гаргаев // Вестн. КузГТУ. – 2008. – № 4. – С. 46-49.
176. Нестеровский А.В. Оперативный контроль состояния асинхронных электродвигателей горных машин / А.В. Нестеровский, В.Г. Каширских // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 9. – С. 4-5.
177. Каширских В.Г. Функциональный контроль параметров и состояния асинхронных электродвигателей / В.Г. Каширских, А.В. Нестеровский // Горное оборудование и электромеханика. – 2006. – № 7. – С. 15-17.
178. Каширских В.Г. Этап подготовки к динамической идентификации асинхронных электродвигателей / В.Г. Каширских, А.В. Нестеровский // Вестн. КузГТУ. – 2006. – № 2. – С. 39-41.
179. Каширских В.Г. Определение параметров и переменных состояния асинхронных электродвигателей в процессе их работы на основе поискового алгоритма оценивания / В.Г. Каширских, А.В. Нестеровский // Вестн. КузГТУ. – 2006. – № 5. – С. 76-79.
180. Нестеровский А.В. Оперативный контроль состояния асинхронных электродвигателей горных машин / А.В. Нестеровский, В.Г. Каширских // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – Т. 8. № 12. – С. 279-284.
181. Bražis V. Asynchronous electric drive with frontal part winding and current inverter: doctoral dissertation on the program "Electrical technology computer control". – Riga, 2005. – 25 p.
182. Thanga Raj C. Energy Efficient Control of Three-Phase Induction Motor - A Review / C. Thanga Raj, S. P. Srivastava, Pramod Agarwal // International Journal of Computer and Electrical Engineering. – April 2009. – Vol. 1. – № 1 – P. 61-70.
183. Kusko A. Control means for minimization of losses in ac and dc motor drives / A. Kusko, D. Galler // IEEE Trans. Ind. Appl. – 1983. – Vol. 1A-19. – № 4. – P. 561-570.
184. Kioskesidis I. Loss minimization in scalar controlled induction motor drives with search controller / I. Kioskesidis, N. Margaritis, // IEEE Trans. Power Electronics. – 1996. – Vol. 11. – № 2. P. 213-220.

185. Kioskesidis I. Loss minimization in induction motor adjustable speed drives / I. Kioskesidis, N. Margaris // IEEE Trans. Ind. Elect. – 1996. – Vol. 43. – № 1. – P. 226-231.
186. Kirschen D. S. Optimal efficiency control of induction machines: Ph.D dissertation. – University of Wisconsin, 1985. – 326 p.
187. Sul S. K. A novel technique for optimal efficiency control of a current-source inverter-fed induction motor / S. K. Sul, M. H. Park // IEEE Trans. Power. Elect. – 1988. – Vol. 3. – № 2. – P. 192-199.
188. Sen S. Optimal efficiency analysis of induction motors fed by variable-voltage and variable-frequency source / S. Sen, S. N. Yeh // IEEE. Trans. Energy Conv. – 1992. – Vol. 7. – № 3. – P.537-543.
189. Abrahamsen F. Efficiency-optimized control of medium size induction motor drives / F. Abrahamsen, et al. // IEEE Trans. Ind. Appl. – 2001. – Vol. 37. – № 4. – P. 1761-1767.
190. Xu D. High performance induction motor drive with optimized excitation current control / D. Xu, D. Zhu, Bin Wu // Proc. IEEE Conf. – 2001. – P. 1673-1678.
191. Abrahamsen F. On the efficiency optimized control of standard and high efficiency induction motor in CT and HVAC applications / F. Abrahamsen, et al. // IEEE Trans. Ind. Appl. – 1998. – Vol. 34. – № 4. – P. 822-831.
192. Kirschen D. S. Minimizing induction motor losses by excitation control in variable frequency drives / D. S. Kirschen et al. // IEEE Trans. Ind. Appl. – 1984. – Vol. 1A-20. – № 5. – P. 1244-1250.
193. Park M. H. Microprocessor based optimal efficiency drive of an induction motor / M. H. Park, S. K. Sul // IEEE Trans. Ind. Elec. – 1984. – Vol. IE-31. – №1. – P. 69-73.
194. Seleme Jr S. I. Experimental validation of the minimum energy approach for induction motor control / S. I. Seleme Jr, et al. // Proc. IEEE Conf. Systems, Man and Cybernetics. – 1993. – Vol. 5. – P. 78-83.
195. Jian T.W. Characteristic induction motor slip values for variable voltage part load performance optimization / T. W. Jian, N. L. Schmitz, D. W. Novotny // IEEE Trans. Ind. Appl. – 1984. – Vol. PAS-102. № 1. – P. 38-46.
196. Buck F. G. G. A simple but reliable loss model for inverter supplied induction motors / F. G. G. Buck, P. Gistelinck, and D. Backer // IEEE Trans. Ind. Appl. – 1984. – Vol. IA-20. № 1. – P. 190-201.
197. Nabae A. An approach to flux control of induction motors operated with variable frequency power supply / A. Nabae, et al. // IEEE Trans. Ind. Appl. – 1980. – Vol. IA-16. – P. 342-349.
198. Geng Y. A novel control strategy of induction motors for the optimization of both efficiency and torque response / Y. Geng et al. // Proc. IEEE Conf. Ind. Electron. Society. – 2004. – P. 1405-1410.
199. Thanga Raj C. Improving energy efficiency in partial loaded induction motor-using power electronic controllers // J. Engineering and Technology. – 2006. – Vol. 1. – № 2. – P. 13-17.

200. Abbondanti A. Method of flux control in induction motors driven by variable frequency, variable voltage supplies // Proc. IEEE IAS Int. Semicond. Power Conv. – 1977. – P.177-184.
201. Wang Fang. A modified particle swarm optimizer with Roulette selection operator / Fang Wang, Yuhui Qiu // IEEE conference proceedings of NLP-KE. – 2005. – P. 765-768.
202. Sujitjorn S. Numerical approach to loss minimization in an induction motor / S. Sujitjorn, K. L. Areerak // Applied Energy. – 2004. – Vol. 79. – P. 87-96.
203. Pryymak B. Neural network flux optimization using a model of losses in induction motor drives / B. Pryymak, et al. // Mathematics and Computers in Simulation. – 2006. – Vol. 71. – P. 290-298.
204. Sundareswaran K. Artificial neural network based voltage controller for energy efficient induction motor drives / K. Sundareswaran, et al. // IEEE Int. Conf. – 1998. – P. 410-413.
205. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учеб. для вузов. – М.: Академия, 2006. – 272 с.
206. Козярук А. Е. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов / А. Е. Козярук, В. В. Рудаков. – СПб.: Санкт-Петербургская Электротехническая компания, 2004. – 127 с.
207. Козярук А. Е. Прямое управление моментом в электроприводе переменного тока машин и механизмов горного производства: учеб. пособие для студ. вузов / А. Е. Козярук, В. В. Рудаков. – СПб.: С.-Петерб. гос. ин-т им. Г. В. Плеханова, 2008. – 99 с.
208. Hamid R. H. A. New technique for maximum efficiency of induction motors based on PSO / R. H. A. Hamid, A. M. A. Amin, R. S. Ahmed, A. El-Gammal // IEEE conference proceedings. – 2006. – P. 2176-2181.
209. Hamid R. H. A. Optimal operation of induction motors using artificial neural network based PSO / R. H. A. Hamid, A. M. A. Amin, R. S. Ahmed, A. El-Gammal // IEEE conference proceedings. – 2006. – P. 2408-2413.
210. El-Laben O.S. Particle Swarm Optimized direct torque control of Induction Motor // IEEE Conf. Proc. IECON. – 2006. – P. 1586-1591.
211. Thanga Raj C. Differential evolution based optimal control of induction motor serving to textile industry / C. Thanga Raj, S. P. Srivastava and P. Agarwal // Int. J. of Computer Science. 2008. – Vol. 35. – № 2.
212. Bernal F. F. Model-based minimization for DC and AC vector-controlled motors including core saturation / F. F. Bernal, A. G. Cerrada // IEEE Trans. Ind. Appl. – 2000. – Vol. 36. – № 3. – P. 755-763.
213. Vaez-Zadeh S. A continuous efficiency optimization controller for induction motor drives / S. Vaez-Zadeh, F. Hendi, Energy // Conversion and Management. – 2005. – Vol. 46. – P. 701-713.
214. Garcia G.O. An efficient controller for an adjustable speed induction motor drive // IEEE Trans. Ind. Elect. – 1994. – Vol. 41. – № 5. – P. 533-539.

215. De wit C. C. Robust torque control design for induction motors: the minimum energy approach / C. C. De wit, S. I. Seleme // *Automatica*. – 1997. – Vol. 33. – № 1. P. 63-79.
216. Lim S. Loss minimization control scheme for induction motors / S. Lim, K. Nam // *IEE proc. Electr. Power appli.* – 2004. – Vol. 151. – № 4. – P. 385-397.
217. Tsouvalas N. Asynchronous motor drive loss optimization / N. Tsouvalas, et al. // *Material Processing and Technology*. – 2007. – Vol. 181. – P. 301-306.
218. Chang J. H. Minimum-time and minimum-loss speed control of induction motors under field oriented control / J. H. Chang, B. K. Kim // *IEEE Trans. Ind. Electron.* – 1997. – Vol. 44. – № 6. – P. 809-815.
219. Kim D. H. GA-PSO based vector control of indirect three phase induction motor // *Applied Soft Computing*. – March, 2007. – Vol. 7. – № 2. P. 601-611.
220. Poirer E. Loss minimization control of induction motor drives based on genetic algorithm / E. Poirer, M. Ghribi, A. Kaddouri // *IEEE Conf. Proc. Electrical machines and Drives, IEMDC*. – 2001. – P. 475-478.
221. L.R. Valdenebro L.R. A Genetic algorithm approach for adaptive field oriented control of induction motor drives / L.R. Valdenebro, E. Bim // *IEEE Conf. Proc., Electrical machines and drives, IEMD, WA, USA*. – 1999. – P. 643-645.
222. Abdin E. S. Efficiency optimization of a vector controlled induction motor drive using an artificial neural network / E. S. Abdin et al. // *Proc. Of IEEE conf. IECON*. – 2003. – P. 2543-2548.
223. Perron M. Full load range neural network efficiency optimization of an induction motor with vector control using discontinuous PWM / M. Perron, H. L. Huy // *Proc. IEEE Symp. Ind. Electron.* – 2006. – Vol.1. – P. 166-170.
224. Famouri P. Loss minimization control of an induction motor drive / P. Famouri, J. J. Cathey // *IEEE Trans. Ind. Appl.* – 1991. – Vol. 27. № 1. P. 32-37.
225. Kioskesidis I. Loss minimization in scalar controlled induction motor drives with search controller / I. Kioskesidis, N. Margaris // *IEEE Trans. Power Electronics*. – 1996. – Vol. 11. – № 2. – P. 213-220.
226. Cleland J. G. Design of an optimization controller for inverter fed AC induction motors // *Proc. of IEEE Conference*. – 1995. – P. 16- 21.
227. Kirschen D. S. On-line efficiency optimization of a variable frequency induction motor drive / D. S. Kirschen, et al. // *IEEE Trans. Ind. Appl.* – 1985. – Vol. 1A-21. – № 4. – P. 610-616.
228. Kim G. S. Control of induction motors for both high dynamic performance and high power efficiency / G. S. Kim, et al. // *IEEE Trans. Ind. Electron.* – 1992. – Vol. 39. – P. 323-333.
229. Ojo O. Steady-state optimization of induction motor drives operating in the field weakening region / O. Ojo, I. Bhat, G. Sugita // *Proc. Power electronics Specialist Conf.* – 1993. – Vol. 2. – P. 979-985.
230. Eguilaz J. M. Induction motor optimum flux search algorithms with transient state loss minimization using fuzzy logic based supervisor / J. M. Eguilaz, et al. // *IEEE Conf. Proc.* – 1997. – P. 1302-1308.

231. Sundareswaran K. Fuzzy logic approach for energy efficient voltage controlled induction motor drive // K. Sundareswaran, S. Palani, IEEE Power Electronics and Drives Conf. Proc. PEDS. – 1999. – P. 552-554.
232. Sousa G. C. D. Fuzzy logic based on-line efficiency optimization control of an indirect vector controlled induction motor drive / G. C. D. Sousa, B. K. Bose, J. G. Cleland // IEEE Trans. Ind. Elec. – 1995. – Vol. 42. – № 2. – P. 192-198.
- 233 Moreno J. Fuzzy logic based improvements in efficiency optimization of induction motor drives / J. Moreno, et al. // Proc. Of IEEE Fuzzy Systems. – 1997. – P. 219-224.
234. Cacciato M. Efficiency optimization technique via constant optimal slip control of induction motor drives / M. Cacciato, A. Consoli, G. Scarcella, G. Seelba, A. Testa // Proc. IEEE Power Electronics, Electric Drives, automation, and Motion. – 2006. – P. 32-42.
235. Vulosavic S. N Robust DSP-Based efficiency optimization of a variable speed induction motor drive / S. N. Vulosavic, E. Levi // IEEE Trans. Ind. Elect. – 2003. – Vol. 50. – № 3. – P. 560-570.
236. Chakraborty C. Fast search controllers for efficiency maximization of induction motor drives based on DC link power measurement / Chandan Chakraborty, Minh C. Ta, Toshiyuki Uchida, Yoichi Hori // Proc. IEEE conf. PCC-Osaka – 2002. – P. 402-408
237. Ghozzi S. Energy optimization of induction motor drives / S. Ghozzi, K. Jelassi, X. Roboam // Proc. IEEE Conf. Industrial Technology (ICIT). – 2004. – P. 602-610.
238. Blanus B. New Trends in Efficiency Optimization of Induction Motor Drives // New Trends in Technologies: Devices, Computer, Communication and Industrial Systems. – 2008. – P. 341-358
- 239 Dong G. Efficiency optimizing control of induction motor using natural variables / Gan Dong, O. Ojo // IEEE Trans. Ind. Elect. – 2006. – Vol. 53. – № 6. – P. 1791-1798.
- 240 Dong G. Sensorless and efficiency optimized induction machine control with associated converter PWM modulation schemes: Ph.D dissertation. – Tennessee Technological University, 2005. – 326 p.
241. Боченков Б.М. Управление электроприводом переменного тока при наилучшем сочетании энергетических свойств и эффективности использования напряжения / Б.М. Боченков, Ю.П. Филюшов // Электротехника. – 2009. – №7. – С. 8-14.
242. Завьялов В. М. Управление динамическим состоянием асинхронных электроприводов горных машин: дис. ... д-ра техн. наук. – Кемерово, 2009. – 327 с.
243. Бичай В. Г. Состояние, тенденции и проблемы в области методов управления асинхронными двигателями / В. Г. Бичай, Д. М. Пиза, Е. Е. Потапенко, Е. М. Потапенко // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2001. – №1. – С. 138-144.
244. Тулеев А.М. Уголь России в XXI веке: Проблемы и решения / А. М. Тулеев, С. В. Шатиоров. – М.: Коллекция «Совершенно секретно», 2002. – 304 с.
245. Семькина И.Ю. Снижение динамических нагрузок в электроприводах карьерных экскаваторов: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2007. – 125 с
246. Беннеран И.Т. Оптимизация режимов работы асинхронного электропривода путем эксперимента // Вестник КГТУ им. А.Н. ТУПОЛЕВА. – 2000. – № 3. – С. 26-30.
247. Волков В.Ю. Оптимизация систем прямого управления моментом асинхронных двигателей по быстродействию и глубине регулирования / В.Ю. Волков, Е.А.

Волкова, В.В. Панкратов // Электротехника, электромеханика и электротехнологии ЭЭЭ-2007: материалы третьей научно-технической конференции с международным участием, 25-26 октября 2007. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – С 73-79.

Приложение А

Регламент патентного поиска

Наименование работы: Разработка энергоэффективных средств управления электроприводами горных машин с учетом особенностей динамических режимов их работы в рамках создания энергосберегающих систем распределения и потребления электроэнергии.

Основание проведения работы: Государственный контракт № 14.740.11.1105 от 24 мая 2011 г.

Цель поиска информации: Выявление прогрессивных технических решений, которое можно использовать при разработке энергоэффективных средств управления электроприводами горных машин.

Предмет поиска	Страна поиска	Источники информации, по которым будет проводиться патентный поиск		Ретроспективность	Наименование информационной базы
		Наименование	Классификационные рубрики: МПК (МКИ), МКПО, НКИ и другие		
Управление горными машинами, управление электроприводом горных машин, асинхронный электропривод, частотное управление асинхронным электродвигателем, снижение потерь в электроприводе, оптимальный асинхронный электропривод	Российская Федерация, Япония, США, Объединенная Европа, Великобритания, Индия	Патенты на изобретение, патенты на полезную модель, заявки на изобретения	H02P1, H02P3, H02P5, H02P21, H02P23, H02P25, H02P27, H02H3, H02H7, G05F1, G05B11, G05B13 и др.	20 лет	ФИПС, WIPO, EPO

Приложение Б

Отчет о патентном поиске

Б.1. Поиск проведен в соответствии с Регламентом патентного поиска (Приложение А)

Б.2. Сведения о выполнении регламента поиска

Поиск по классификационным рубрикам выполнен в объеме, превышающем регламент. Ретроспективность поиска превышает регламент. Отступления от регламента могут считаться незначительными, и выполнены с целью получения более объективной информации в рамках заданного патентного поиска.

Б.3 Материалы, отобранные для последующего анализа

Таблица Б.3.1 – Патентная документация

Предмет поиска	Страна выдачи, вид и номер охранного документа. Классификационный индекс	Заявитель (патентообладатель), страна. Номер заявки, дата приоритета, конвенционный приоритет, дата публикации	Название изобретения, полной модели, образца	Сведения о действии охранного документа
1	2	3	4	5
1. Управление горными машинами	Российская Федерация С1, 2259476. МПК E21C35/24	Открытое Акционерное Общество "Копейский машиностроительный завод"(RU), 2003119904/03, 30.06.2003, 27.08.2005	Система управления горным комбайном	На 27.06.2011 - действует
	Российская Федерация С1, 2204715. МПК E21C35/24	Открытое акционерное общество "Подмосковный научно-исследовательский и проектно-конструкторский угольный институт", 2001126642/03, 01.10.2001, 20.05.2003.	Регулируемый электропривод горного комбайна	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация U1, 14741. МПК E21C35/24	Открытое акционерное общество "Подмосковный научно-исследовательский и проектно-конструкторский угольный институт", 2000105041/20, 01.03.2000, 20.08.2000	Регулируемый электропривод горного комбайна	На 27.06.2011 - прекратил действие

1	2	3	4	5
1. Управление горными машинами	Российская Федерация С1, 14741. МПК E21C35/24	Открытое акционерное общество "Подмосковный научно-исследовательский и проектно-конструкторский угольный институт", 2000105041/20, 01.03.2000, 20.08.2000	Регулируемый электропривод горного комбайна	На 27.05.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2041353. МПК E21C35/24	Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г. В. Плеханова, 4624843/03, 31.10.1988, 09.08.1995	Способ управления горной машиной	На 27.05.2011 - прекратил действие
2. Управление электроприводом горных машин	Российская Федерация А1, 97103261 МПК E21C35/24	Открытое акционерное общество по добыче угля "Воркутауголь" (RU) Заявка: 97103261/03, 05.03.1997, 10.03.1999	Устройство для контроля и управления электроприводами забойных машин	На 01.07.2011 нет данных
	Российская Федерация С1, 2417513 МПК:H02P23/12 (2006.01), H02P27/04 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет)" (RU) 2010119989/07, 18.05.2010, 18.05.2010, 27.04.2011	Устройство автоматического управления электроприводом переменного тока при питании от источника ограниченной мощности	На 27.06.2011 - действует
	WO/2006/034217 H02P 7/00 (2006.01), H02P 3/00 (2006.01), H02P 5/00 (2006.01)	Oldenburg group incorporated [us/us]; 1717 west civic drive, glendale, wi 53209 (us)(for all designated states except us). Rudinec, stephen, a. [us/us]; (us) (for us only) pct/us2005/033519 19.09.2005 30.03.2006	Battery-powered vehicle with ac driven traction and pump motors for mining applications	На 01.07.2011 нет данных

1	2	3	4	5
2. Управление электроприводом горных машин	1992/07473 B 62 D B 60 K	Wagner mining and construction equipment co. 1992/07473 29.09.1992 30.06.1993	Variable speed ac electric drive vehicle	На 01.07.2011 нет данных
	WO/1993/00488 7 B60L 11/18 (2006.01), B60L 9/08 (2006.01)	Wagner mining and construction equipment co. [us/us]; 4424 n.e. 158th, portland, or 97220-0307 (us), pct/us1992/007443 03.09.1992 18.03.1993	Variable speed ac electric drive vehicle	На 01.07.2011 нет данных
	WO/2006/03421 7 H02P 7/00 (2006.01), H02P 3/00 (2006.01), H02P 5/00 (2006.01)	Oldenburg group incorporated [us/us]; 1717 west civic drive, glendale, wi 53209 (us)(for all designated states except us). Pct/us2005/033519 19.09.2005 30.03.2006	Battery-powered vehicle with ac driven traction and pump motors for mining applications	На 01.07.2011 нет данных
3. Асинхронный электропривод	Российская Федерация С1, 2014721, МПК H02P5/34	Комсомольский-на-Амуре политехнический институт (RU). 4887464/07, 04.12.1990, 15.06.1994	Способ фазового управления асинхронным двигателем с тиристорным регулятором напряжения	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2192703 МПК H02P1/28, H02P3/18, H02P7/36	Хохлов Юрий Иванович. (RU) 2001105329/09, 26.02.2001, 10.11.2002	Способ мягкого управления асинхронной электрической машиной	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация А1, 2002122677. МПК H02P5/34	Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (RU). 2002122677/09, 22.08.2002, 10.03.2004	Электропривод переменного тока	На 01.07.2011 нет данных

1	2	3	4	5
3. Асинхронный электропривод	Российская Федерация С2,2268525. МПК H02H3/24 (2006.01) H02H7/09 (2006.01)	Задеренко Владимир Алексеевич (RU)2003133202/09, 13.11.2003, 20.01.2006	Устройство для управления трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2311724. МПК H02P25/26 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Уральский государственный университет" (RU). 2006127053/09, 25.07.2006, 27.11.2007	Способ управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором	На 27.06.2011 - прекратил действие, но может быть восстановлен
	Российская Федерация С1, 2300169. МПК H02P25/26 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Уральский государственный университет" (RU) 2006100438/09, 10.01.2006. 27.05.2007	Способ и устройство управления асинхронным двигателем с фазным ротором	На 27.06.2011 - действует
	Российская Федерация С1, 2296415. МПК H02P3/24 (2006.01) H02H7/09 (2006.01)	Задеренко Владимир Алексеевич (RU) 2005128249/09, 09.09.2005, 27.03.2007	Устройство для управления трехфазным асинхронным электродвигателем	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1,2279756. МПК H02P3/24 (2006.01)	Задеренко Владимир Алексеевич (RU) 2004135969/09, 08.12.2004. 10.07.2006	Устройство для управления трехфазным асинхронным электродви	На 27.06.2011 - прекратил действие

1	2	3	4	5
3. Асинхронный электропривод	Российская Федерация С1, 2256285. МПК H02P1/28	Закрытое акционерное общество "Электротекс" (RU) 2003130395/09, 14.10.2003, 10.07.2005	Способ плавного управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С2, 2247458. МПК H02H7/09, H02P3/24	Задеренко Владимир Алексеевич (RU), 2002120563/09, 29.07.2002, 27.02.2005	Устройство для управления трехфазным асинхронным электродвигателем	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2246172. МПК H02P5/40, H02P7/58	Ульяновский государственный технический университет (RU), 2003122172/09, 15.07.2003, 10.02.2005	Способ фазового управления асинхронным исполнительным электродвигателем	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С2, 2202850. МПК H02P5/40, H02P7/62	ООО "Горнозаводское объединение" (RU), 99113396/09, 25.06.1999, 20.04.2003	Способ управления асинхронным двигателем с фазным ротором	На 27.06.2011 - действует
	Российская Федерация С1, 2082277. МПК H02P7/62	Воронежский государственный технический университет (RU), 94028937/07, 02.08.1994, 20.06.1997.	Устройство для управления двухфазным асинхронным двигателем в режиме колебательного движения	На 27.06.2011 - прекратил действие

1	2	3	4	5
3. Асинхронный электропривод	Российская Федерация С1, 2056699. МПК H02P5/34	Санкт-Петербургский институт инженеров железнодорожного транспорта им. акад. В.Н.Образцова, 4900472/07, 09.01.1991, 20.03.1996	Устройство для управления трехфазным асинхронным электродвигателем с фазным ротором	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2047263. МПК H02P5/34	Вохмянин Владислав Григорьевич, 93002308/07, 12.01.1993, 27.10.1995.	Устройство для управления трехфазным асинхронным электродвигателем	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2007833. МПК H02P5/34	Вохмянин Владислав Григорьевич, 4744071/07, 29.09.1989, 15.02.1994	Устройство для управления реверсивным асинхронным электродвигателем В.Г. Вохмянина	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2393622. МПК H02P27/05 (2006.01)	Общество с ограниченной ответственностью "Горнозаводское объединение" (ООО "Горнозаводское объединение") (RU), : 2008149002/09, 11.12.2008, 27.06.2010	Способ управления процессами преобразования энергии в асинхронном двигателе с фазным ротором	На 27.06.2011 - действует
	Российская Федерация С1, 2371831. МПК H02P7/05 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Уральский государственный университет" (RU), 2008117702/09, 04.05.2008, 04.05.2008	Асинхронный электропривод с фазным ротором	На 27.06.2011 - может прекратить свое действие

1	2	3	4	5
3. Асинхронный электропривод	Российская Федерация С1, 2268525. МПК H02H3/24 (2006.01) H02H7/09 (2006.01)	Задеренко Владимир Алексеевич (RU), 2003133202/09, 13.11.2003, 20.01.2006	Устройство для управле- ния трехфаз- ным асин- хронным электродвига- телем с ко- роткозамкну- тым ротором	На 27.06.2011 - прекра- тил дей- ствие
	Российская Фе- дерация С1, 2321152. МПК H02P3/24 (2006.01) H02H7/09 (2006.01)	Задеренко Владимир Алексеевич (RU), 2006130178/09, 21.08.2006, 27.03.2008	Устройство для управле- ния трехфаз- ным асин- хронным электродвига- телем	На 27.05.2011 - прекра- тил дей- ствие, но может быть вос- становлен
	Российская Фе- дерация С1, 2315417. МПК H02P1/40 (2006.01) H02P23/00 (2006.01)	Горянин Владимир Нико- лаевич (RU), 2006123881/09, 03.07.2006, 20.01.2008	Способ ревер- сивного управления крановым асинхронным двигателем с симисторами в цепи статора	На 27.05.2011 - действу- ет
	Российская Фе- дерация С1, 2315417. МПК H02P25/26 (2006.01)	Государственное образо- вательное учреждение высшего профессиональ- ного образования "Южно- Уральский государствен- ный университет" (RU), 2006127053/09, 25.07.2006, 27.11.2007	Способ управления асинхронным электродвига- телем с фаз- ным ротором	На 27.05.2011 - прекра- тил дей- ствие, но может быть вос- становлен
	Российская Фе- дерация А, 96101721. МПК H02P7/42, H02P7/62	Малинин Л.И., Малинин В.И., Макельский В.Д., Тюков В.А., 96101721/07, 31.01.1996, 27.11.1997	Способ управления асинхронным электродвига- телем при не- синусоидаль- ном напряже- нии питания	На 02.06.2011 нет дан- ных

1	2	3	4	5
3. Асинхронный электропривод	Российская Федерация А, 93029548. МПК H02P21/00	Масандилов Л.Б., Гетман Ю.И., Мелихов В.Л., Симонов В.А., Фумм Г.Я., 93029548/07, 27.05.1993, 20.02.1995	Способ управления двухскоростным асинхронным двигателем	На 02.06.2011 нет данных
	Российская Федерация А, 93029167. МПК H02P5/40	Железняков С.В., 93029167/07, 26.05.1993, 27.08.1995	Способ квазичастотного управления асинхронным короткозамкнутым электродвигателем с вентиляторной нагрузкой и устройство для его осуществления	На 02.06.2011 нет данных
	Российская Федерация А, 92004607. МПК H02P7/36	Коваль А.С., Тюшкевич Л.М., Карпушов С.Н., Горецкий Я.Л., Качур Ф.С., Воробьев О.Н., 92004607/07, 12.11.1992, 20.02.1995	Устройство для управления асинхронным электродвигателем	На 02.06.2011 нет данных
	Российская Федерация С1, 2406206. МПК H02H7/09 (2006.01)	Фейгин Лев Залманович (RU), 2009143740/07, 26.11.2009, 10.12.2010	Устройство управления работой трехфазного асинхронного двигателя	На 27.05.2011 - действует

1	2	3	4	5
	Российская Федерация С1, 2311725. МПК Н02Р25/28 (2006.01) Н02Р27/05 (2006.01) В66С13/28 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Уральский государственный университет" (RU), 2006126883/09, 24.07.2006, 27.11.2007	Способ управления автоматизацией пускотормозных режимов дроссельного асинхронного электропривода	На 27.05.2011 - прекратил действие, но может быть восстановлен
3. Асинхронный электропривод	Российская Федерация А1, 94008327. МПК Н02Р7/36	Капаций А.В.[UA], 94008327/07, 10.03.1994, 27.10.1995	Способ управления скоростью асинхронного двигателя	На 02.06.2011 нет данных
	Российская Федерация С1, 2133549. МПК Н02Р1/26	Сухомлин Юрий Николаевич, 98102438/09, 11.02.1998, 20.07.1999	Система управления режимами работы асинхронного двигателя	На 27.05.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 35044. МПК Н02Р1/26	Открытое акционерное общество "Сибирско-Уральская алюминиевая компания", 2003123253/20, 23.07.2003, 20.12.2003	Устройство для управления пуском асинхронного электродвигателя в функции времени	На 27.05.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 67354. МПК Н02Р5/00 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский политехнический университет (RU), 2007114355/22, 16.04.2007, 10.10.2007	Асинхронный электропривод со свойством живучести	На 27.05.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2101847. МПК Н02Р21/00	Акционерное общество "Всероссийский научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт рестроения "ВНИИР", 95115497/09, 04.09.1995, 10.01.1998	Электропривод тиристорный асинхронный	На 27.05.2011 - прекратил действие

1	2	3	4	5
	Российская Федерация U1, 94728. МПК G05B23/02 (2006.01) G08B23/00 (2006.01) G01R31/02 (2006.01)	Вячеслав Николаевич (RU), Белоусов Иван Михайлович (RU), Никольская Александра Андреевна (RU), Сорокин Владимир Юрьевич (RU), 2010101587/22, 20.01.2010, 7.05.2010	Устройство управления асинхронным электроприводом с обнаружением источников сбоев	На 27.05.2011 - может прекратить свое действие
3. Асинхронный электропривод	WO/2011/03410 9 H02P 27/06 (2006.01)	Toyota jidosha kabushiki kaisha [jp/jp]; 1, toyota-cho, toyota-shi, aichi 4718571 (jp) (all except us). Manabe, shizuo [jp/jp]; (jp) (us only). Pct/jp2010/065987 15.09.2010 24.03.2011	Three-phase ac motor drive control device	На 01.07.2011 нет данных
	WO/2008/00152 4 H02M 7/5387 (2007.01), H02M 7/5395 (2006.01)	Toyota jidosha kabushiki kaisha [jp/jp]; 1, toyota-cho, toyota-shi, aichi, 4718571 (jp) (all except us). Ohtani, hiroki [jp/jp]; (jp) (us only). Nakamura, makoto [jp/jp]; (jp) (us only). Yamada, kenji [jp/jp]; (jp) (us only). Okamura, masaki [jp/jp]; (jp) (us only). Hanada, hideto [jp/jp]; (jp) (us only). Pct/jp2007/057340 27.03.2007 03.01.2008	Ac motor drive control device and method	На 01.07.2011 нет данных
	RU 2372708 (C1)	G obrazovatel noe uchrezhdenie [ru] Ru20080128617 20080714 2009-11-10	Method for control of inductor motor	На 01.07.2011 нет данных

1	2	3	4	5
	WO/2011/05954 2 H02K 17/06 (2006.01), H02K 3/28 (2006.01)	Emerson electric co. [us/us]; 8000 west florissant st. Lou- is, missouri 63136 (us) (for all designated states except us). Fei, renyan, w. [us/us]; (us) (for us only). Stevens, larry, l. [us/us]; (us) (for us only). Schrader, john, g. [us/us]; (us) (for us only) pct/us2010/044341 04.08.2010 19.05.2011	2 speed 2/4- pole psc/psc motor with independent main wind- ings and shared auxili- ary winding	На 01.07.2011 нет дан- ных
	WO/2011/04459 4 H02K 17/12 (2006.01), H02K 1/18 (2006.01), H02K 16/02 (2006.01)	Aharonyan, hrays [am/am]; (am). Petrosyan, vachagan [ru/am]; (am) pct/am2010/000002 10.09.2010 21.04.2011	Three - phase asynchronous engine (vari- ants)	На 01.07.2011 нет дан- ных
3. Асинхронный электропривод	WO/2011/03288 7 H02K 9/20 (2006.01), H02K 17/16 (2006.01)	Siemens aktiengesellschaft [de/de]; wittelsbacherplatz 2 80333 münchen (de) (for all designated states except us). Büttner, klaus [de/de]; (de) (for us only). Kirchner, klaus [de/de]; (de) (for us only) pct/ep2010/063275 10.09.2010 24.03.2011	Cooling of an asynchronous rotor	На 01.07.2011 нет дан- ных
	A1 2211446 H02K 16/00 H02K 17/36 H02K 17/42 H02K 17/02	Tayegyan mikayel m yurgal- ov pavel v 09000930 23.01.2009 28.07.2010	Asynchronous machine	На 01.07.2011 нет дан- ных
	A2 2202871 H02K 17/16	Tesla motors inc 09015808 21.12.2009 30.06.2010	Induction mo- tor with im- proved torque density	На 01.07.2011 нет дан- ных

1	2	3	4	5
	A1 2112753 G01R 23/20 G01R 31/34 G01R 23/16 G01P 3/44 G01P 3/42 H02K 17/02	Advanced digital design s a 08381014 24.04.2008 28.10.2009	Method and device for determining the rotor rotation speed of an asynchronous electric induction motor	На 01.07.2011 нет дан- ных
	WO/2007/04493 0 H02P 7/00 (2006.01), H02H 3/00 (2006.01), H02H 7/00 (2006.01), H02H 7/08 (2006.01), H02K 17/32 (2006.01), H02 K 23/68 (2006.01), H02K 27/20 (2006.01), H02K 27/28 (2006.01), H02 K 27/30 (2006.01)	Black & decker inc.; 1207 drummond plaza, newark, de 19711 (us) (for all designated states except us). Woods, samuel, g. [us/us]; (us) (for us only). Forster, mike [gb/us]; (us) (for us on- ly). Kononenko, george, o. [us/us]; (us) (for us only). Leh, jason, k. [us/us]; (us) (for us only). Bradus, robert [us/us]; (us) (for us only). Bears, david [us/us]; (us) (for us only). Vanko, john, c.; (for us only). Privett, zollie, w. [us/us]; (for us on- ly) Pct/us2006/040254 12.10.2006 19.04.2007	Control and protection methodologies for a motor control module	На 01.07.2011 нет дан- ных
4. Частотное управление асинхронным электродвигателем	Российская Фе- дерация С1, 2412526. МПК H02P23/00	Государственное образова- тельное учреждение выс- шего профессионального образования "Южно- Уральский государствен- ный университет" (RU) : 2010108563/07, 09.03.2010, 20.02.2011	Устройство частотного управления асинхронным электроприводом	На 27.06.2011 - действу- ет

1	2	3	4	5
	Российская Федерация С2, 2402866. МПК H02P27/04 (2006.01) H02P27/06 (2006.01) H02P23/14 (2006.01)	Открытое акционерное общество "Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт электровозостроения" (ОАО "ВЭЛНИИ") (RU). 2008135803/09, 03.09.2008. 10.03.2010, 27.10.2010	Способ управления частотно-регулируемым асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором	На 27.06.2011 - действует
	Российская Федерация С2, 2240594. МПК G05F1/247, H02M7/48, H02P21/00	Уфимский государственный авиационный технический университет (RU), 2002116078/09, 18.06.2002, 20.11.2004	Устройство формирования выходного напряжения автономного инвертора для управления асинхронным двигателем	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С2, 2193814. МПК H02P21/00	ХИТАЧИ ЛТД. (JP), 99121868/09, 19.03.1997, 27.11.2002	Устройство и способ управления асинхронным электродвигателем	На 27.06.2011 - действует
4. Частотное управление асинхронным электродвигателем	Российская Федерация С1, 2169426. МПК H02P21/00	Воронежский государственный технический университет (RU), 99121152/09, 05.10.1999, 20.06.2001	Устройство для управления асинхронным электроприводом	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2099850. МПК H02P7/63, H02P7/46	Липецкий государственный технический университет (RU), 96108106/09, 18.04.1996, 20.12.1997	Способ управления асинхронным двигателем с фазным ротором	На 27.06.2011 - прекратил действие

1	2	3	4	5
	Российская Федерация С1, 2081503. МПК Н02Р7/42	Всесоюзный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт кранового и тягового электрооборудования, 5066799/07, 03.07.1992, 10.06.1997.	Способ управления частотным асинхронным электроприводом и устройство для его осуществления	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2401502. МПК Н02Р21/00 (2006.01) Н02Р21/12 (2006.01) Н02Р21/13 (2006.01) Н02Р27/08 (2006.01)	Общество с ограниченной ответственностью "Инт-КЛАСС" (RU), Александров Евгений Васильевич (RU), 2008139055/09, 02.10.2008, 02.10.2008	Частотно-регулируемый асинхронный электропривод	На 27.06.2011 - может прекратить свое действие
	Российская Федерация С1, 2359400. МПК Н02Р7/05 (2006.01)	ФГУП "192 Центральный завод железнодорожной техники" (RU), 2007122031/09, 13.06.2007, 20.06.2009	Частотно-управляемый асинхронный электропривод	На 27.06.2011 - может прекратить свое действие
4. Частотное управление асинхронным электроприводом	Российская Федерация С1, 2412526. МПК Н02Р23/00 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Уральский государственный университет" (RU), 2010108563/07, 09.03.2010, 20.02.2011	Устройство частотного управления асинхронным электроприводом	На 27.06.2011 - действует

1	2	3	4	5
	Российская Федерация С1, 2402866. МПК Н02Р27/04 (2006.01) Н02Р27/06 (2006.01) Н02Р23/14 (2006.01)	Открытое акционерное общество "Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт электровозостроения" (ОАО "ВЭЛНИИ") (RU), 2008135803/09, 03.09.2008, 27.10.2010	Способ управления частотно-регулируемым асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором	На 27.06.2011 - действует
	Российская Федерация С1, 2361356. МПК Н02Р21/00 (2006.01) Н02Н7/08 (2006.01)	Открытое акционерное общество Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава (ОАО "ВНИКТИ") (RU), 2008131373/09, 31.07.2008, 10.07.2009	Способ и устройство управления асинхронным двигателем	На 27.05.2011 - действует
	Российская Федерация А, 2008109096. МПК Н02Р25/00 (2006.01)	Кодкин Владимир Львович (RU), 2008109096/09, 07.03.2008, 10.10.2009	Устройство управления асинхронным двигателем с фазным ротором	На 02.06.2011 экспертиза завершена
	Российская Федерация А, 2008135803. МПК Н02Р5/00 (2006.01)	Вольвич Анатолий Георгиевич (RU), Орлов Юрий Алексеевич (RU), Таргонский Игорь Людвигович (RU), Щербаков Виктор Гаврилович (RU), 2008135803/09, 03.09.2008, 10.03.2010	Способ управления частотнорегулируемым асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором	На 02.06.2011 экспертиза завершена
4. Частотное управление асинхронным электродвигателем	Российская Федерация А, 99121868. МПК Н02Р21/00	АНДО Такеши (JP), ТАНАМАЧИ Токуносукэ (JP), ТОЙОТА Эйичи (JP), НАКАТА Кийоши (JP), СУЗУКИ Масато (JP), ЯСУДА Коуджи (JP), 99121868/09, 19.03.1997, 27.11.2001	Устройство и способ управления асинхронным электродвигателем	На 02.06.2011 нет данных

1	2	3	4	5
4. Частотное управление асинхронным электродвигателем	Российская Федерация А, 99121868. МПК H02P21/00	Медведев Владимир Алексеевич, Шиянов Анатолий Иванович, Морозов Сергей Викторович, 99121152/09, 05.10.1999, 27.07.2001	Устройство для управления асинхронным электроприводом	На 02.06.2011 нет данных
	Российская Федерация С2, 2257663. МПК H02P5/40, H02P5/412	Открытое акционерное общество "Уральский приборостроительный завод" (RU), 2003118916/09, 23.06.2003, 27.07.2005	Устройство управления асинхронным электродвигателем	На 27.05.2011 - прекратил действие, но может быть восстановлен
	Российская Федерация А, 95109366. МПК H02P5/34, H02P7/42	Гришуков Л.С., Ефимов П.В., Ляус И.М., Сыркин Б.Л., 95109366/09, 06.06.1995, 20.02.1998	Устройство управления асинхронным тяговым электродвигателем	На 02.06.2011 нет данных
	Российская Федерация А, 93048455. МПК H02P5/34	Рене Жаннерэ[СН], 93048455/07, 22.06.1993, 27.08.1995	Устройство управления асинхронным электрическим двигателем	На 02.06.2011 нет данных
	Российская Федерация А, 93017675. МПК H02P5/34	Желудев В.А., Богачева И.С. 93017675/07, 05.04.1993, 20.07.1995	Способ частотного управления асинхронным электроприводом	На 02.06.2011 нет данных
	Российская Федерация А, 92003577. МПК H02P7/42	Юрьев Н.Я., Татаринцев Н.И. 92003577/07, 02.11.1992, 20.01.1995	Способ управления асинхронным двигателем и устройство для его осуществления	На 02.06.2011 нет данных

1	2	3	4	5
	<p>Российская Федерация С1, 2392732. МПК Н02Р21/00 (2006.01) Н02Р21/12 (2006.01) Н02Р27/08 (2006.01)</p>	<p>МИЦУБИСИ ЭЛЕКТРИК КОРПОРАЙШН (JP), 2008152125/09, 06.07.2006 JP PCT/JP2006/313478, 03.08.2006, 20.06.2010</p>	<p>Устройство управления вектором асинхронного двигателя, способ управления вектором асинхронного двигателя и устройство управления приводом асинхронного двигателя</p>	<p>На 27.05.2011 - действует</p>
	<p>Российская Федерация С1, 2317632. МПК Н02Р21/00 (2006.01)</p>	<p>Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ульяновский государственный технический университет" (RU), 2006133765/09, 21.09.2006, 20.02.2008</p>	<p>Система векторного управления скоростью асинхронного электродвигателя</p>	<p>На 27.05.2011 - прекратил действие, но может быть восстановлен</p>
	<p>Российская Федерация А, 95113468. МПК F02B53/00</p>	<p>Йоахим Бекер[DE], Йерг Яннинг[DE], 95113468/06, 17.07.1995, 20.07.1997</p>	<p>Способ управления потоком ротора асинхронного двигателя</p>	<p>На 02.06.2011 нет данных</p>
<p>управление асинхронным электро-</p>	<p>Российская Федерация С2, 2158055. МПК Н02Р21/00</p>	<p>Ульяновский государственный технический университет, 98110426/09, 02.06.1998, 20.10.2000</p>	<p>Система векторного управления скоростью асинхронного электропривода</p>	<p>На 27.05.2011 - прекратил действие</p>

1	2	3	4	5
	Российская Федерация С1, 2192705. МПК H02P5/28	Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2000127638/09, 02.11.2000, 10.11.2002	Моментный асинхронный электропривод	На 27.05.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация U1, 4422. МПК H02P7/36	Акционерное общество закрытого типа - Фирма "Электросервис, 96108850/20, 07.05.1996, 16.06.1997	Регулируемый асинхронный электропривод для механизмов с вентиляторной характеристикой нагрузки	На 27.05.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация А1, 92015978. МПК H02P7/42	Подобедов Е.Г., Кураев М.Н., Морозова В.Н., 92015978/07, 30.12.1992, 20.04.1995	Асинхронный частотно-регулируемый электропривод	На 06.06.2011 нет данных
	Российская Федерация U1, 101290. МПК H02P25/00 (2006.01) G05B11/38 (2006.01) G05B13/02 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУ ВПО "КубГТУ") (RU), 2010117953/07, 04.05.2010, 10.01.2011	Устройство с улучшенными динамическими характеристиками для формирования оптимальной по быстродействию диаграммы для малых изменений частоты вращения исполнительного органа электропривода переменного тока	На 27.05.2011 - действует

1	2	3	4	5
4. Частотное управление асинхронным электродвигателем	Российская Федерация U1, 67356. МПК H02P5/60 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУВПО "КубГТУ") (RU), 2007125010/22, 02.07.2007, 10.10.2007	Устройство для формирования близкой к оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения электропривода с упругим валопроводом при ограничениях по току и скорости механизма с активным неизменным моментом сопротивления	На 27.05.2011 - прекратил действие, но может быть восстановлен
	Российская Федерация U1, 67796. МПК H02P5/60 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУВПО "КубГТУ") (RU), 2007125015/22, 02.07.2007, 21.10.2007	Устройство для формирования близкой к оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения электропривода с упругим валопроводом при ограничениях по току и скорости механизма с моментом сопротивления типа сухого трения	На 27.05.2011 - прекратил действие, но может быть восстановлен
	Российская Федерация U1, 69354. МПК H02P5/60 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУВПО "КубГТУ") (RU), 2007120427/22, 31.05.2007, 10.12.2007	Устройство для формирования оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения электропривода с моментом сопротивления типа сухого трения при ограничении по напряжению	На 27.05.2011 - прекратил действие, но может быть восстановлен

1	2	3	4	5
4. Частотное управление асинхронным электродвигателем	<p>Российская Федерация U1, 101286. МПК H02P7/14 (2006.01) G05B11/36 (2006.01) G05B13/02 (2006.01)</p>	<p>Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУ ВПО "КубГТУ") (RU), 2010127709/07, 05.07.2010, 10.01.2011</p>	<p>Устройство для формирования сигнала, соответствующего оптимальной по быстродействию диаграмме перемещения исполнительного органа электропривода с моментом сопротивления типа сухого трения при ограничениях по напряжению, току и частоте вращения</p>	<p>На 27.05.2011 - действует</p>
	<p>Российская Федерация U1, 96712. МПК H02P25/00 (2006.01) G05B11/38 (2006.01) G05B13/02 (2006.01)</p>	<p>Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУ ВПО "КубГТУ") (RU), 2010117846/07, 04.05.2010, 10.08.2010</p>	<p>Устройство с улучшенными динамическими характеристиками для формирования оптимальной по быстродействию диаграммы для средних изменений частоты вращения исполнительного органа электропривода переменного тока</p>	<p>На 27.05.2011 - действует</p>
	<p>Российская Федерация U1, 96711. МПК H02P25/00 (2006.01) G05B11/38 (2006.01) G05B13/02 (2006.01)</p>	<p>Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУ ВПО "КубГТУ") (RU), 2010117645/07, 04.05.2010, 10.08.2010</p>	<p>Устройство с улучшенными динамическими характеристиками для формирования оптимальной по быстродействию диаграммы для больших изменений частоты вращения исполнительного органа электропривода переменного тока</p>	<p>На 27.05.2011 - действует</p>

1	2	3	4	5
4. Частотное управление асинхронным электродвигателем	<p>Российская Федерация U1, 101288. МПК H02P7/14 (2006.01) G05B11/36 (2006.01) G05B13/02 (2006.01))</p>	<p>Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУ ВПО "КубГТУ") (RU), 2010130938/07, 23.07.2010, 10.01.2011</p>	<p>Устройство для формирования сигнала, соответствующего оптимальной по быстродействию диаграмме для больших перемещений исполнительного органа электропривода переменного тока</p>	<p>На 27.05.2011 - действует</p>
	<p>Российская Федерация U1, 99617. МПК G05B11/36 (2006.01) G05B13/02 (2006.01) H02P7/14 (2006.01)</p>	<p>Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУ ВПО "КубГТУ") (RU), 2010130936/07, 23.07.2010, 20.11.2010</p>	<p>Устройство для формирования сигнала, соответствующего оптимальной по быстродействию диаграмме для средних перемещений исполнительного органа электропривода переменного тока</p>	<p>На 27.05.2011 - действует</p>
	<p>Российская Федерация U1, 100643. МПК H02P25/00 (2006.01) G05B11/38 (2006.01) G05B13/02 (2006.01)</p>	<p>Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУ ВПО "КубГТУ") (RU), 2010129143/07, 13.07.2010, 20.12.2010</p>	<p>Устройство для формирования сигнала, соответствующего оптимальной по быстродействию диаграмме для небольших перемещений исполнительного органа электропривода переменного тока</p>	<p>На 27.05.2011 - действует</p>

1	2	3	4	5
4. Частотное управление асинхронным электродвигателем	WO/2011/06540 6 H02P 21/00 (2006.01), H02P 27/04 (2006.01)	Kabushiki kaisha toyota chuo kenkyusho [jp/jp]; 41-1, aza yokomichi, oaza nagakute, nagakute-cho, aichi-gun, aichi 4801192 (jp) (all except us). Ghaderi ahmad [ir/jp]; (jp) (us only). Sugai masaru [jp/jp]; (jp) (us only) pct/jp2010/070993 25.11.2010 03.06.2011.,	Ac motor drive-control apparatus and reference magnetic-flux calculation device	На 01.07.2011 нет данных
	WO/2011/06516 5 H02P 27/06 (2006.01), H02P 21/00 (2006.01), H02P 27/04 (2006.01)	Aisin aw co., ltd. [jp/jp]; 10, takane, fujiicho, anjo-shi, aichi 4441192 (jp) (all except us). Shimada arinori [jp/jp]; (jp) (us only). Saha subrata [in/jp]; (jp) (us only). Iwatsuki ken [jp/jp]; (jp) (us only). Pct/jp2010/068853 25.10.2010 03.06.2011	Control device of motor drive device	На 01.07.2011 нет данных
	WO/2010/14430 8 H02P 23/14 (2006.01)	Eaton corporation [us/us]; 1111 superior avenue cleveland, oh 44114 (us) (all except us). Lu, bin [cn/us]; (us). Yan, ting [cn/us]; (us). Fredette, steven [us/us]; (us). Luebke, charles [us/us]; (us). Pct/us2010/037352 04.06.2010 16.12.2010	System and method of dynamic regulation of real power to a load	На 01.07.2011 нет данных
	WO/2010/10356 5 H02P 21/00 (2006.01), H02P 27/04 (2006.01)	Hitachi industrial equipment systems co., ltd. [jp/jp]; 3, kandaneribei-cho, chiyodaku, tokyo, 1010022 (jp) (all except us). Iwaji, yoshitaka [jp/jp]; (jp) (us only). Arakawa, yoichiro [jp/jp]; (jp) (us only). Arao, yusuke [jp/jp]; (jp) (us only). Pct/jp2009/001061 10.03.2009 16.09.2010	Ac motor drive device	На 01.07.2011 нет данных

1	2	3	4	5
4. Частотное управление асинхронным электродвигателем	WO/2010/08672 9 H02P 21/14 (2006.01)	Eaton corporation [us/us]; eaton center 1111 superior avenue cleveland, ohio 44114-2584 (us) (all except us). Lu, bin [cn/us]; (us) (us only). Habetler, thomas, g. [us/us]; (us) (us only). Zhang, pinjia [cn/us]; (us) (us only). Pct/ib2010/000175 29.01.2010 05.08.2010	System and method for determining stator winding resistance in an ac motor using motor drives	На 01.07.2011 нет дан- ных
	WO/2009/13882 1 H02P 21/06 (2006.01), H02P 21/00 (2006.01)	Freescale semiconductor, inc. [us/us]; 6501 william cannon drive west austin, texas 78735 (us) (all except us). Filka, roman [sk/cz]; (cz) (us only). Balazovic, pe- ter [sk/cz]; (cz) (us only). Pct/ib2008/051933 16.05.2008 19.11.2009	Method and apparatus for control of an ac electric motor with field weaken- ing	На 01.07.2011 нет дан- ных
	WO/2008/02368 8 H02P 23/00 (2006.01), H02P 25/04 (2006.01)	Daikin industries, ltd. [jp/jp]; umeda center building, 4-12, nakazaki-nishi 2-chome, kita-ku, osaka-shi, osaka 5308323 (jp) (all except us). Ogawa, hironori [jp/jp]; (jp) (us only). Yokoi, masaaki [jp/jp]; (jp) (us only). Yana- gawa, makoto [jp/jp]; (jp) (us only). Ohkido, takeo [jp/jp]; (jp) (us only). Pct/jp2007/066164 21.08.2007 28.02.2008	Ac load driver and switching control meth- od	На 01.07.2011 нет дан- ных
	WO/2008/14816 0 H02P 6/08 (2006.01), H02P 27/06 (2006.01)	Itw industrial packaging aus- tralia pty ltd [au/au]; 30 ful- ton drive, derrimut, victoria 3030 (au) (all except us). Moosajee, shabbir [au/au]; (au) (us only).	Torque con- trol for ac motors	На 01.07.2011 нет дан- ных

1	2	3	4	5
4. Частотное управление асинхронным электродвигателем	WO/2009/11345 2 H02P 27/06 (2006.01)	Toyota jidosha kabushiki kaisha [jp/jp]; 1, toyota-cho, toyota-shi, aichi 4718571 (jp) (all except us). Takeuchi, shigeto [jp/jp]; (jp) (us only). Taira, tomotsugu [jp/jp]; (jp) (us only). Pct/jp2009/054268 06.03.2009 17.09.2009	Electric motor drive device and control method thereof	На 01.07.2011 нет данных
	WO 2011065406 (A1) H02P21/00; H02P27/04	Toyota chuo kenkyusho kk [jp]; ghaderi ahmad [jp]; sugai masaru [jp] Wo2010jp70993 20101125 2011-06-03	Drive-control apparatus and reference magnetic-flux calculation device	На 01.07.2011 нет данных
	RU 2402148 (C1) H02P25/08; H02P6/00; H02P6/16	Vserossijskij ni i pki ehlektrovozostroenija oao vehlnii aoot [ru] Ru20090112764 20090406 2010-10-20	Inductor motor control method	На 01.07.2011 нет данных
	A3 1881581 H02K 1/06 H02P 6/00 H02K 17/16	Meyer rolf 07014180 19.07.2007 23.01.2008	Frequency converter-fed three-phase current asynchronous motor	На 01.07.2011 нет данных
	WO/2006/131878 H02P 25/02 (2006.01), G01P 3/44 (2006.01), H02K 17/30 (2006.01)	Philips intellectual property & standards gmbh [de/de]; lübeckertordamm 5, 20099 hamburg (de) (de only). Koninklijke philips electronics n. V. [nl/nl]; groenewoudseweg 1, nl-5621 ba eindhoven (nl) (ae, ag, al, am, at, au, az, ba, bb, be, bf, bg, bj, br, bw, by, bz, ca, cf, cg, ch, ci, cm, cn, co, cr, cu, cy, cz, dk, dm, dz, ec, ee, eg, es, fi, fr, ga, gb, gd, ge, gh, gm, gn, gq, gr, gw, hr, hu, id, ie, il, in, is, it, jp, ke, kg, km, kn, kp, kr, kz, lc, lk, lr, ls, lt, lu, lv, ly, ma, mc, md, mg, mk, ml, mn, mr, mw, mx, mz, na, ne, ng, ni, nl, no, nz, om, pg, ph, pl, pt, ro, ru, sc, sd, se, sg, si, sk, sl, sm, sn, sy, sz, td, tg, tj, tm, tn, tr, tt, tz, ua, ug, uz, vc, vn, yu, za, zm, zw only). Pct/ib2006/051791 06.06.2006 4.12.2006	Sensorless measurement of the rotation frequency of a rotor of an asynchronous machine	На 01.07.2011 нет данных

1	2	3	4	5
4. Частотное управление асинхронным электродвигателем	T3 E97401722 H02P9/08 H02K17/24 H02P9/00 H02P23/00 F03D9/00	Cegelec E97401722 17.07.1997 01.03.2004	Procedimiento de control de una maquina electrica giratoria de doble alimentacion y maquina que utiliza este procedimiento	На 01.07.2011 нет данных
	B1 1191676 H 02P 7/622 H 02P 5/418 H 02P 5/402 H02P 25/14 H 02K 17/08 H02P 25/02	Ebm papst mulfingen gmbh & co 01116642 13.07.2001 27.03.2002	Process for determining the speed of an ac motor and motor control system	На 01.07.2011 нет данных
5. Снижение потерь в электроприводе	Российская Федерация U1, 82387. МПК H02P7/14 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУВПО "КубГТУ") (RU), 2008117624/22, 04.05.2008, 20.04.2009	Устройство для получения в электроприводе при ограничении скорости оптимальных по минимуму потерь электроэнергии	На 27.06.2011 - может прекратить свое действие
	Российская Федерация U1, 82502. МПК H02P7/14 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУВПО "КубГТУ") (RU) 2008117622/22, 04.05.2008, 27.04.2009	Устройство для получения в электроприводе без ограничения скорости оптимальных по минимуму потерь электроэнергии	На 27.06.2011 - может прекратить свое действие

1	2	3	4	5
5. Снижение потерь в электроприводе	Российская Федерация С1, 2094941. МПК Н02Р7/62	Новосибирский государственный технический университет (RU), 96101721/07, 31.01.1996, 27.10.1997	Способ управления асинхронным электродвигателем при несинусоидальном напряжении питания	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2313862. МПК Н01М10/44 (2006.01) Н01М10/06 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)" (RU), 2006115417/09, 04.05.2006, 27.12.2007	Способ снижения поляризации электродов свинцового аккумулятора при стохастических режимах подзаряда в системе импульсного электропривода с рекуперацией	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация U1, 29626. МПК Н02Р1/58	Общество с ограниченной ответственностью Межрегионснаб НК, 2002133645/20, 20.12.2002, 20.05.2003	Устройство для увеличения мощности тока	На 27.05.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2392729. МПК Н02Р3/22 (2006.01) Н02Р27/06 (2006.01)	Федеральное государственное унитарное предприятие "Центральный научно-исследовательский институт автоматики и гидравлики" (RU), 2008151911/09, 29.12.2008, 20.06.2010	Преобразователь энергии электропривода с генераторным торможением	На 27.06.2011 - действует
	Российская Федерация С1, 2310253. МПК Н01J45/00 (2006.01)	Гарбузов Валентин Георгиевич (RU), Щеклеин Сергей Евгеньевич (RU), Смирнов Лев Николаевич (RU), 2005122695/28, 18.07.2005, 10.11.2007	Способ прямого преобразования тепла в электрическую энергию переменного трехфазного тока	На 27.06.2011 - действует

1	2	3	4	5
5. Снижение потерь в электроприводе	Российская Федерация А1, 95104523. МПК H01L35/30	Уткин С.Ю. 95104523/25, 21.03.1995, 27.01.1997,	Способ преобразования тепловой энергии в термоэлектрической установке и термоэлектрическая установка для преобразования тепловой энергии	На 02.06.2011 нет данных
	Российская Федерация А1, 95104522. МПК H01L35/30	Уткин С.Ю. Заявка: 95104522/25, 21.03.1995, 27.04.1997	Способ преобразования тепловой энергии в силовой установке и силовая установка для его осуществления	На 02.06.2011 нет данных
	Российская Федерация А1, 95103958. МПК F01K25/00	Уткин С.Ю, 95103958/06, 20.03.1995, 27.01.1997	Способ преобразования тепловой энергии в силовой энергетической установке. Силовая энергетическая установка для преобразования тепловой энергии	На 02.06.2011 нет данных
	Российская Федерация А1, 95103958. МПК H02P7/28	Гусев П.Г. 94020094/07, 01.05.1994, 10.06.1996	Преобразователь электрической энергии	На 02.06.2011 нет данных
	Российская Федерация С1, 2188492. МПК H02J3/18	Ивановский государственный энергетический университет, 2000128610/09, 16.11.2000, 27.08.2002	Способ защиты электрических сетей и потребителей электрической энергии	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация А1, 2005123767. МПК F03G1/00 (2006.01)	Корнилов Виталий Дмитриевич (RU), 2005123767/06, 27.07.2005, 10.02.2007	Двигатель на энергии сил инерции	На 02.06.2011 нет данных

1	2	3	4	5
5. Снижение потерь в электроприводе	Российская Федерация С1, 2052883. МПК H02J3/18, H02P5/34, H02P7/42	Петербургский государственный университет путей сообщения, Акционерное общество открытого типа "Электросила", 92006197/07, 04.11.1992, 20.01.1996	Способ компенсации реактивной энергии асинхронного двигателя и устройство для его осуществления	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2046538. МПК H02J3/18, H02P5/34, H02P7/42	Научно-производственное объединение "Ротор", 5002815/07, 17.09.1991, 20.10.1995	Преобразователь энергии электрического тока	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2189100. МПК E21C35/24	Байков Юрий Александрович, 2001135080/09, 26.12.2001, 10.09.2002	Устройство уменьшения потерь энергии в электрической машине	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация U1, 47531. МПК G01R33/14	Барбаков Александр Дмитриевич (RU), 2005107687/22, 18.03.2005, 27.08.2005	Устройство для измерения потерь энергии на вращательный гистерезис	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2018152. МПК G01R33/035 G01R27/02	Петербургский институт инженеров железнодорожного транспорта, Зубов В. И., Ким К. К., Лупкин И. Д., Середа Г. Е., 4814617/21, 16.04.1990, 15.08.1994	Установка для измерения потерь энергии в сверхпроводнике	На 27.06.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С2, 2294050. МПК H02P23/08 (2006.01) H02P27/06 (2006.01)	Открытое акционерное общество "Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт электровозроения" (ОАО "ВЭЛНИИ") (RU), 005114089/09, 11.05.2005, 20.02.2007	Способ управления синхронным двигателем	На 27.06.2011 - прекратил действие

1	2	3	4	5
5. Снижение потерь в электроприводе	Российская Федерация А1, 2007146493. МПК В60К1/00 (2006.01)	Маляров Андрей Владимирович (RU), 2007146493/11, 12.12.2007, 20.06.2009	Энергосберегающий способ построения схем электроприводных механизмов	На 06.06.2011 состояние делопроизводства экспертизы завершена
	Российская Федерация U1, 77121. МПК H02P5/00 (2006.01) H02K11/00 (2006.01)	Анкудинов Константин Александрович (RU), 2008120339/22, 22.05.2008, 10.10.2008	Устройство встроенного контроля постоянной времени электродвигателя и мертвого хода механической передачи электропривода	На 27.05.2011 - может прекратить свое действие
	Российская Федерация С1, 2362264. МПК H02P25/00 (2006.01) G05B11/38 (2006.01) G05B13/02 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Липецкий государственный технический университет (ГОУ ВПО ЛГТУ) (RU), 2007146855/09, 17.12.2007, 20.07.2009	Способ управления электроприводом переменного тока	На 27.05.2011 - может прекратить свое действие
	WO/2011/05347 3 H02K 17/16 (2006.01), H02K 17/30 (2006.01)	Finkle, louis [us/us]; (us). Furia, andrea [it/us]; (us) (for us only) pct/us2010/052980 16.10.2010 05.05.2011	Reconfigurable inductive to synchronous motor	На 01.07.2011 нет данных
	WO/2011/03126 7 H02K 17/18 (2006.01), H02K 3/12 (2006.01)	Tm ge automation systems, llc [us/us]; suite 200 1325 electric road roanoke, va 24018 (us)(for all designated states except us). Bixel, paul, s. [us/us]; (us) (for us only). Lara, marcelo, andres [ar/us]; (us) (for us only) pct/us2009/056646 11.09.2009 17.03.2011	Fuel efficient crane system	На 01.07.2011 нет данных

1	2	3	4	5
5. Снижение потерь в электроприводе	WO/2011/00233 4 H02K 17/18 (2006.01), H02K 3/12 (2006.01)	Joint stock company "technology smp" [ru/ru]; ul. Kalan- chevskaya, 6/3 mos- cow, 107078 (ru) (for all designated states except us). Baydasov, nikolay Ivanovich [ru/ru]; (ru) (for us on- ly) pct/ ru2009 /000674 08.12.2009 06.01.2011	Способ повыше- ния эффективно- сти работы асин- хронной коротко- замкнутой элек- трической машины и асинхронная ко- роткозамкнутая электрическая ма- шина (варианты)	На 01.07.2011 нет дан- ных
	A2 2197088 H02K 9/19 H02K 3/28 H02K 9/197 H02M 7/521 H02K 17/12 H02M 7/505 H02K 17/02	Direct drive systems inc 10157356 25.10.2007 16.06.2010	Electromechanical energy conversion systems	На 01.07.2011 нет дан- ных
	A1 2186182 H02P 1/16 H02K 17/12 H02P 1/46 H02K 17/02	Ramu inc 08795264 13.08.2008 19.05.2010	Method, controller, and power converter for controlling a single-switch based switched reluctance machine	На 01.07.2011 нет дан- ных
	WO/2009/118135 H02P 1/38 (2006.01), H02K 17/14 (2006.01), H02K 19/12 (2006.01), H02K 3/28 (2006.01), H02P 25/18 (2006.01), H02P 25/20 (2006.01)	Grundfos management a/s [dk/dk]; poul due jensens vej 7 -11 dk- 8850 bjerringbro (dk) (for all designated states except us). Aarestrup, jan caroe [dk/dk]; (dk) (for us only) Pct/ep2009 /002087 20.03.2009 01.10.2009	For control- ling of a mul- tiphase elec- tric motor op- erating in star- connected mode	На 01.07.2011 нет дан- ных
	B1 0357317 H02K 33/00 H02K 16/00 H 02K 7/12 E21B 43/12 E21B 4/00 H 02K 21/24 H02K 33/12 E21B 4/12 F04C 15/00 E21B 4/04 H02K 21/24 H02K 21/12	Framo dev ltd 89308486 22.08.1989 07.03.1990	Electric motor	На 01.07.2011 нет дан- ных

1	2	3	4	5
5. Снижение потерь в электроприводе	T3 2050246 H02K33/12 H02K21/24 F04C15/00 H02K16/00 E21B4/12 E21B4/04 E21B43/12	Framo developments (u.k.) Limited E89308486 22.08.1989 16.05.1994	Motor electrico	На 01.07.2011 нет дан- ных
	1886394 H02P 1/16 H02K 17/08 H02K 17/12 H02P 1/44 H02P 25/04 H02K 11/00 H02P 25/02 H02K 17/02	Miraculous motors corp 06771491 31.05.2006 13.02.2008	Apparatus and method for increasing efficiency of electric mo- tors	На 01.07.2011 нет дан- ных
	WO/2011/02409 5 H02P 4/00 (2006.01), H02K 17/28 (2006.01), H02K 17/30 (2006.01)	Indian institute of science [in/in]; bangalore karnataka 560012 (in) (for all designat- ed states except us). Ranga- nathan, v, t. [in/in]; (in) (for us only). Hatua, kamalesh [in/in]; (in) (for us only) Pct/ib2010/053664 03.03.2011 13.08.2010	Improved in- duction motor	На 01.07.2011 нет дан- ных
	A1 2161821 H02K 16/00 H02K 16/04 H02K 17/42 H02P 9/00	Gen electric 08163611 03.09.2008 10.03.2010	Magnetically geared gener- ator	На 01.07.2011 нет дан- ных
	A3 1775823 H02K 3/28 H02P 25/18 H02K 17/14 H02P 25/16 H02K 17/02	Patay moteurs 06301032 10.10.2006 18.04.2007	Electrical ma- chine	На 01.07.2011 нет дан- ных
	A2 PI0703332 H02K 17/08 H02P 25/04	Whirlpool s.a. Pi0703332 15.08.2007 31.03.2009	Sistema e método de acionamento de en- rolamento auxiliar de motor elétrico e motor elétrico	На 01.07.2011 нет дан- ных
	T3 2325817 H02P25/04 H02K17/08 H02P1/44	E.g.o. Elektro- geratebau gmbh E06000967 18.01.2006 18.09.2009	Dispositivo para el mando de un motor de condensador y dispositivo de venti- lacion con dicho dispositivo	На 01.07.2011 нет дан- ных

1	2	3	4	5
5. Снижение потерь в электроприводе	A4 1509995 H02K 3/28 H02P 27/04 H02M 7/521 H02P 27/08 H02P 29/00 H02K 29/03 H02K 17/12 H 02P 7/62 H02M 7/505 H02K 17/02	Borealis tech ltd 02709735 25.02.2002 02.03.2005	Polyphase in- duction elec- trical rotating machine	На 01.07.2011 нет дан- ных
	A3 1450469 H02K 3/28 H02P 23/00 H 02K 3/28 H 02K 17/30 H02P 25/18 H02K 17/14 H02K 17/30 H02P 25/20 H02P 25/16 H02K 17/02	Fanuc ltd 04250869 18.02.2004 25.08.2004	Electric motor	На 01.07.2011 нет дан- ных
	WO/2003/100957 H02K 1/24 (2006.01), H02K 16/00 (2006.01), H02K 19/10 (2006.01), H02K 21/12 (2006.01), H02P 1/16 (2006.01), H02P 1/18 (2006.01), H02P 25/08 (2006.01), H02K 16/04 (2006.01), H02K 17/00(2006.01), H02K 7/09 (2006.01)	Virginia tech intellec- tual properties, inc. [us/us]; 1872 pratt drive, suite 1625, blacksburg, va 24060 (us) (for all designated states ex- cept us). Ramu, krishnan [us/us]; (us) (for us only) Pct/us2003/016631 27.05.2003 04.12.2003	Method, ap- paratus, and system for drive control, power con- version, and start-up con- trol	На 01.07.2011 нет дан- ных
	B1 1203437 H02K 55/00 H02K 19/14 H 02K 55/04 H 02P 7/00 H 02K 21/00 H02K 55/04 H02K 17/26 H02K 19/02 H02K 17/02 H 02K 19/00	American superconductor corp 00989180 10.08.2000 08.05.2002	Supercon- ducting elec- tric motor	На 01.07.2011 нет дан- ных
	WO/2002/061924 H02P 1/32 (2006.01), H02P 25/18 (2006.01), H02K 17/30 (2006.01)	Solectria corpora- tion [us/us]; 33 indus- trial way wilmington, ma 01887 (us) Pct/us2002/002442 29.01.2002 08.08.2002	Electronically controlled changeover switch	На 01.07.2011 нет дан- ных

1	2	3		4	5
	A4 1334549 H02K 3/28 H 02K 17/14 H02K 17/12 H02P 27/00 H02K 17/02	Borealis tech ltd 01988968 22.10.2001 13.08.2003		High phase order motor with mesh connected windings	На 01.07.2011 нет дан- ных
6. Оптимальный асинхронный электропривод	Российская Фе- дерация С1, 2402865. МПК H02P23/08 (2006.01) H02P27/04 (2006.01) H02P27/06 (2006.01)	Общество с ограниченной ответственностью "Русэлпром- Электропривод" (RU) 2009133126/07, 04.09.2009 27.10.2010		Способ оп- тимального частотного управления асинхрон- ным двига- телем	На 27.06.2011 - действу- ет
	Российская Фе- дерация С1, 2390091. МПК H02P21/08 (2006.01) H02P21/13 (2006.01) H02P23/08 (2006.01) H02P27/06 (2006.01)	Государственное образова- тельное учреждение выс- шего профессионального образования "Уфимский государственный авиаци- онный технический уни- верситет" (RU). 2008147449/09, 01.12.2008 20.05.2010		Система управления асинхрон- ным двига- телем	На 27.06.2011 - действу- ет
	Российская Фе- дерация С1, 2402147. МПК H02P21/08 (2006.01) H02P27/04 (2006.01)	Общество с ограниченной ответственностью "Русэлпром- Электропривод" (RU), 2009133125/07, 04.09.2009, 20.10.2010		Способ оп- тимального векторного управления асинхрон- ным двига- телем	На 27.06.2011 - действу- ет
	Российская Фе- дерация С1, 2132110. МПК H02P21/00	Мищенко Вла- дислав Алексе- вич (RU), 98105552/09, 25.03.1998, 20.06.1999	Способ оптимального векторного управления асинхронным электро- двигателем и электро- привод для осуществ- ления этого способа (варианты)		На 27.06.2011 - действу- ет

1	2	3	4	5
6. Оптимальный асинхронный электропривод	Российская Федерация С1, 2390091. МПК H02P21/08 (2006.01) H02P21/13 (2006.01) H02P23/08 (2006.01) H02P27/06 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уфимский государственный авиационный технический университет", 2008147449/09, 01.12.2008, 20.05.2010	Система управления асинхронным двигателем	На 27.05.2011 - действует
	Российская Федерация С1, 2306666. МПК H02P21/12 (2006.01) H02P27/06 (2006.01)	Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кузбасский государственный технический университет" (ГУ КузГТУ) (RU), 2005140130/09, 21.12.2005, 21.12.2005	Способ управления электромагнитным моментом асинхронного двигателя	На 27.05.2011 - прекратил действие
	Российская Федерация С1, 2069034. МПК H02P7/42, H02P5/34	Хашимов Арипджан Адылович (UZ), 5037925/07, 16.04.1992, 10.11.1996	Частотно-регулируемый асинхронный электропривод с экстремальным управлением	На 27.06.2011 - прекратил действие
	WO/2010/13097 8 G05F 1/70 (2006.01), H02M 1/42 (2007.01), H02M 3/335 (2006.01)	Peto raymond john [gb/gb]; (gb). Pct/gb2010/000928 12.05.2010 18.11.2010	A motor controller and related method	На 01.07.2011 нет данных
	A3 1322024 H02P 7/622 H02K 17/08 F 04B 49/06 H 02K 17/08 H02K 17/02	Wilo ag 02025952 21.11.2002 25.06.2003	Selfcontrolled power level adaptation	На 01.07.2011 нет данных

1	2	3	4	5
6. Оптимальный асинхронный электропривод	WO/2003/10095 6 H02K 1/24 (2006.01), H02K 16/00 (2006.01), H02K 19/10 (2006.01), H02 K 21/12 (2006.01), H02P 1/16 (2006.01), H02P 1/18 (2006.01), H02P 25/08 (2006.01), H02K 16/04 (2006.01), H02 K 17/00 (2006.01), H02K 7/09 (2006.01)	Virginia tech intellectual properties, inc. [us/us]; 1872 pratt drive, suite 1625, blacksburg, va 24060 (us) (for all designated states except us). Ramu, krish- nan [us/us]; (us) (for us on- ly). Bhanot, ajit [in/us]; (us) (for us only) Pct/us2003/016627 27.05.2003 04.12.2003	Apparatus and method for identify- ing an opera- tional phase and control- ling energiza- tion	На 01.07.2011 нет дан- ных
	A4 1364439 H02P 9/42 H02K 17/22 H 02J 9/06 H02J 9/06 H02P 9/00 H 01J 9/08 H02P 9/48 H02K 17/02	Satcon technology corp 02720900 31.01.2002 26.11.2003	An uninterru- ptible pow- er supply sys- tem using a slip-ring, wound-rotor- type induction machine and a method for flywheel en- ergy storage	На 01.07.2011 нет дан- ных

Таблица Б.3.2 – Количество патентных документов по годам

Год	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	За все года
Кол-во	1	3	2	2	8	5	3	6	4	4	3	3	
Год	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	За все года
Кол-во	5	5	7	9	2	8	13	12	20	14	22	1	

Б.4 Полнотекстовые варианты документов, приведенных в таблице Б.3.2, по номеру заявки, дате приоритета или дате публикации доступны на сайтах:

<http://www.fips.ru>, <http://www.wipo.int>, <http://www.epo.org>.