

Ф

ISSN 0013-5860



ОТКРЫТОМУ АКЦИОНЕРНОМУ ОБЩЕСТВУ

“ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ,
ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РЕЛЕСТРОЕНИЯ
С ОПЫТНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ”





ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ —
КОЛЛЕКТИВНЫЙ ЧЛЕН АКАДЕМИИ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ НАУК РФ
Издается с января 1930 года

№ 2 ФЕВРАРЬ 2001

УЧРЕДИТЕЛИ

ДЕПАРТАМЕНТ МАШИНОСТРОЕНИЯ
МИНПРОМА РФ (г. МОСКВА)
АО «ЭЛЕКТРОВЫПРЯМИТЕЛЬ»
(г. САРАНСК)
АООТ «ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ
«ЭЛЕКТРОЗАВОД» (г. МОСКВА)
АО «ЭЛЕКТРОНИКА» (г. ВОРОНЕЖ)
АО «ВЭЛНИИ» (г. НОВОЧЕРКАССК)
АССОЦИАЦИЯ ИНЖЕНЕРОВ СИЛОВОЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ (г. МОСКВА)
АССОЦИАЦИЯ «АВТОМАТИЗИРОВАН-
НЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД» (г. МОСКВА)
НТА «ПРОГРЕССЭЛЕКТРО»
(г. МОСКВА)
АО «РОСЭЛПРОМ» (г. МОСКВА)

СОВЕТ УЧРЕДИТЕЛЕЙ

ЧИБИРКИН В.В., МАКАРЕВИЧ Л.В.,
МЕЩЕРЯКОВ В.М., ЩЕРБАКОВ В.Г.,
КОВАЛЕВ Ф.И. (председатель совета),
ЮНЬКОВ М.Г., ПОДАРУЕВ А.И., ГЛО-
ВАЦКИЙ А.В.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
КОЧЕТКОВ В.Д.

БЕЛКИН Г.С., ДАЦКОВСКИЙ Л.Х.,
ДОЛКАРТ В.М., КОПЫЛОВ И.П.,
ЛУРЬЕ А.И., МАВЛЯНБЕКОВ Ю.У.,
МОСКАЛЕНКО В.В., НИКУЛИН А.А.,
РОЗАНОВ Ю.К., СЛЕЖАНОВС-
КИЙ О.В. (зам. главного редактора),
ТРУБАЧЕВ С.Г., ТУБИС Я.Б.,
УСОВ Н.Н., ФИНКЕЛЬ Э.Э., ФЛОРЕН-
ЦЕВ С.Н.

Изатель: ЗАО "Знак"

103012, Москва, Б.Черкасский пер., 2/10

Адрес редакции:

123242, Москва,

Зоологическая ул., 11, комн. 213

Факс/телефон: 254-11-52

E-mail elektrotehnika@mtu-net.ru

При перепечатке ссылка на журнал
«Электротехника» обязательна.
Мнение редакции не всегда совпадает с
точкой зрения авторов статей.
За содержание рекламных материалов
редакция ответственности не несет.

© «Электротехника», 2001 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Бочкарев В.Н. ЧЭТНИИ-ВНИИР — ОАО "ВНИИР" 40 лет	1
Сагарадзе Е.В. Опыт разработки, внедрения и сертификации сис- темы качества в ОАО "ВНИИР"	3
Бочкарев В.Н., Сагарадзе Е.В., Генин В.С., Михайлов Н.М., Малафеев Б.И. Изделия для электроэнергетики в разработ- ках ВНИИР	5
Горчаков В.В., Никитин В.М. Основные направления работ ОАО "ВНИИР" в области создания регулируемых электроприводов постоянного и переменного тока, устройств управления и автома- тики для различных отраслей промышленности	8
Иванов А.Г., Арзамасов В.Л., Маслова М.Н., Михайлов В.В., Ушаков И.И., Лазарев Д.В. Тиристорные электроприводы постоянного тока	10
Иванов А.Г., Альтшуллер М.И., Генин В.С., Борисов Л.Ф., Ше- пелин В.Ф., Кирюшин В.В., Чаронов В.Я., Евсеев А.Н. Работы в области автоматизации и энергосберегающих техно- логий в нефтедобыче	16
Альтшуллер М.И., Аристов Б.В., Афанасьев А.А., Белов Б.В., Блохинцев А.А., Евсеев А.Н., Залятов М.М., Рыжкова Е.Б. Саевич В.Л. Регулируемый электропривод с вентильным дви- гателем для погружных насосов нефтяных скважин	20
Бочкарев В.Н., Работаев А.Ф., Генин В.С., Никитин В.А., Сте- панов Г.Н. Устройства для предотвращения образования кар- бонатных отложений на поверхностях теплообменного обору- дования	24
Нестерин В.А., Донской Н.В., Серков О.А., Бабак А.Г. Без- датчиковый вентильный электропривод вентилятора отопите- ля автомобиля	27
Лямец Ю.Я., Ефимов Е.Б., Нудельман Г.С., Законьшек Я. Принцип информационного совершенства релейной защиты ..	30
Аракелян А.К., Шепелин А.В. Способы построения систем авто- матического управления электроприводами насосов, работаю- щими на длинные трубопроводы	35
Донской Н.В., Вишневский В.И. Мультипроцессорная система управления асинхронным двигателем с ориентацией по векто- ру потока	41
Степанов Г.Н. Направленная токовая защита сетей с блокиров- кой с элементами адаптации	43
Сагарадзе Е.В., Свинцов Г.П. К анализу трехфазной четырехди- одной схемы выпрямления для питания обмоток электромаг- нитных механизмов	48
Бугаев Г.А., Леонтьев А.Н., Ерохин Е.Ю., Павлова Д.В. Мате- матические модели нагрева и охлаждения асинхронных двига- телей для микропроцессорного реле тепловой защиты	51
Виноградов А.А., Гаврилов А.Н., Скворцов Ю.Г., Степа- нов О.Н., Шумов А.И. Автоматизированный типовой ком- плекс оборудования для послеуборочной переработки хмеля ..	55
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ПУБЛИКУЕМЫХ СТАТЕЙ	61
Правила оформления рукописей статей в журнале "Электротехника" ..	64
НАШИ ЮБИЛЯРЫ (Иванов А.Г., Степанов Г.Н., Сушко В.А., Ше- пелин В.Ф.)	65

ЧЭТНИИ – ВНИИР – ОАО “ВНИИР” – 40 лет

Празднование юбилея института — дань уважения людям, творившим его историю.

Александр Васильевич Буйволов, который в то время работал директором Чебоксарского электроаппаратного завода (ЧЭАЗ), был инициатором создания отдельного от завода НИИ, основной деятельностью которого должно было стать формирование технической политики обновления номенклатуры заводов отрасли, разработка и внедрение новой низковольтной аппаратуры, материалов и технологий. А. В. Буйволов был создателем Чувашского электротехнического научно-исследовательского института и его первым директором.

1 февраля 1961 г. отдел кадров принял трудовые книжки первых сотрудников ЧЭТНИИ, переводом перешедших с ЧЭАЗ. Крупный “десант” выпускников вузов Москвы, Ленинграда, Новочеркасска, Свердловска, Иваново в 1962—1963 гг. укомплектовал первые 4 отдела института: аппаратный, релейный, электропривода, технологический.

В 1963 г. директором стал Николай Ильич Осадченко, директор-строитель. Благодаря его инициативе было начato и в 1965 г. закончено строительство собственных лабораторных и производственных корпусов ЧЭТНИИ. При нем структура института дополнилась такими необходимыми подразделениями как отдел стандартизации и нормализации, технико-экономических обоснований, научно-технической информации, патентный отдел и лаборатория климатических и механических испытаний. Госкомитет по электротехнике при Госплане СССР закрепил за институтом 7 основных заводов НВА и 16 других предприятий НВА по основной укрупненной номенклатуре в соответствии с профилем института. В 1969 г. приказом по МЭТП институт был переименован во “Всесоюзный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт релестроения” (ВНИИР) и назначен головным в отрасли по направлениям:

- реле и устройства релейной защиты и автоматики;
- электрические коммутационные аппараты (реле, пускатели, лифтовая аппаратура);
- комплектные электроприводы для станкостроения и робототехники;
- низковольтные комплектные устройства для станкостроения, лифтостроения и энергетики;
- технология низковольтного аппаратостроения.

При Н. И. Осадченко институт принял первый госзаказ по разработке и поставке изделий на объекты оборонного комплекса.

В 1971 г. директором ВНИИР стал Анатолий Дмитриевич Поздеев, директор-ученый, он существенно повысил научный потенциал института. На материалах разработок института 6 человек защитили докторские диссертации, 64 человека получили степень кандидата технических наук, присвоено звание “Заслуженный изобретатель РФ” — 5 сотрудникам, “Заслуженный изобретатель Чувашии” — 15 сотрудникам. За разработки и поставки аппаратуры во исполнение решений Правительства 32 работника института награждены орденами и 126 — медалями, а институт — орденом “Трудового

Красного Знамени”. Вот только некоторые важнейшие для страны работы, в которых участвовал ВНИИР:

- разработка и внедрение на ЧЭАЗе двух поколений защит линий 500-750 кВ, в том числе оснащение защитами ВЛ “Дружба”: “Западная Украина (СССР) — Альбертириша (ВНР)”;
- разработка комплекса защит ЛЭП постоянного тока сверхвысокого напряжения 1500 кВ “Экибастуз — Центр”;
- разработка и внедрение комплекса защит ВЛ переменного тока сверхвысокого напряжения 1150 кВ “Экибастуз — Урал”;
- создание пуско-регулирующих бесконтактных устройств, получивших золотую медаль Лейпцигской выставки;
- участие в разработке крупнейшего в мире комплекса по производству электрошлакового металла на заводе “Красный Октябрь” (г. Волгоград), отмеченного премией Совета Министров СССР;
- разработка, поставка на головные заказы всех новых объектов флота и затем освоение в серийном производстве на ЧЭАЗе комплекса устройств и систем релейной защиты и автоматики корабельных электроэнергетических систем;
- разработка, поставка и освоение в серийном производстве на ЧЭАЗе миниатюрных реле и дистанционных переключателей для космических аппаратов — “Прогресс”, “Восток”, “Мир”, “Буран”, “Ямал 100”;
- разработка и поставка систем регулирования тока и напряжения для орбитальной обсерватории “Гамма”;
- создание комплекса аппаратуры управления и релейной защиты для АЭС, в том числе в сейсмостойком исполнении.

В этот период до 70% всего объема исполнений электроприводов, произведенных в СССР, было разработано ВНИИРОм, который в 1985 г. был определен головным в странах СЭВ по электроприводам для станкостроения и робототехники. Научная школа, созданная во ВНИИР профессором, заслуженным деятелем науки и техники РФ, доктором техн. наук А. Д. Поздевым, дала много серьезных научных разработок по теории вентильного электропривода с полупроводниковыми преобразователями, ставших основой ряда методических пособий специализированных кафедр вузов.

В 1986 г. директором был назначен канд. техн. наук Геннадий Стахеевич Коротков. Директор-технолог, он завершил строительство и пуск технологического корпуса, значительно усилил подразделения электротехнических материалов, оснастки, нестандартного оборудования. Вместе с группой специалистов института Г.С. Коротков участвовал в закупке, “руссификации”, адаптации конструкторской и технологической документации во Франции для постройки в г. Александрии (Украина) завода по выпуску лицензионного пускателя. Изучение в этот период зарубежной аппаратуры сыграло огромную роль в повышении квалификации наших конструкторов и технологов. Производство курируемым институтом изделий, номенклатура которых насчитывала до 400 серий и типов, было сосредоточено более чем на 50 предприятиях

ях страны. Естественным завершением серьезного улучшения Г.С. Коротковым технологических служб института стало освоение в опытном производстве ВНИИР серийного выпуска бытового сертифицированного электропротюга “Корнет” с электронной “начинкой”. Этот выпуск (до 10 тыс. шт. в месяц) создал реальную возможность увеличения оборотных средств, внедрения хозрасчета во всех подразделениях и стал тем фундаментом, на котором выстоял институт в рыночных условиях, последовавших за плановой экономикой.

В апреле 1992 г. директором был избран кандидат технических наук Вадим Наркисович Бочкарев, а в июле-декабре институт акционировался “по второй модели”. В сложных экономических условиях в стране директор обязан был стать директором-финансистом и лично отвечать перед сотрудниками за задержку зарплаты, перед налоговыми органами и внебюджетными фондами за задержку платежей; балансировать между бартером, зачетами, векселями, деньгами и в то же время наращивать объемы выпуска, сохраняя искусственное, но льготируемое для НИИ соотношение объемов 70% — НИОКР, 30% — поставки. Главнейшей задачей администрации в эти 8 лет было не допустить распада института на мелкие “юридические лица” с неизбежной, затем, самоликвидацией некоторых из них в жестких рыночных условиях, как показала практика многих других предприятий. Жесткий стимулирующий внутренний хозрасчет, дающий отделам свободу распоряжаться своими средствами (после обязательных отчислений в прибыль, накладные расходы и налоги) в сочетании с “социалистическим” пониманием необходимости поддержки временно убыточных направлений, обеспечил главное для НИИ — сохранение научного потенциала, высококлассных специалистов, квалификация которых формировалась годами, и всего лабораторно-испытательного комплекса, что позволяет и сейчас выполнять разработки любой сложности и сертификационные испытания по всей тематике института. Правильность принятой политики подтвердилась тем, что институт сохранился как единое целое, третий год работает прибыльно, второй год платит дивиденды, самофинансирует НИОКР и покупает оборудование из прибыли. Численность вновь начала расти и составляла в 2000 г. 700 человек. В картотеке расчетного счета остались только пени, которые образовались в основном из-за задержек платежей за выполненные оборонные заказы в 1995—1999 гг. и работы по федеральным целевым комплексным программам. Надеемся, что при разумной политике Правительства пени удастся списать.

За годы реформ существенно расширилась тематика работ института. Вот некоторые новые направления:

- разработка и поставка в котельные Южной Кореи, Индонезии, Китая, Республики Словакия и России ультразвуковых устройств, предотвращающих образование накипи в теплообменном оборудовании;
- разработка и поставка в старый жилой фонд Москвы, Московской области и других городов вандалостой-

ких лифтовых кнопочных постов;

- разработка и поставка термодатчиков с вентильным двигателем собственного производства на конвейер АвтоВАЗа в а/м ВАЗ-2110;
- создание и внедрение на 4 заводах производства пускателя ПМ-12 взамен всех существовавших ранее серий;
- разработка и поставка комплекса оборудования наружной установки для технологических объектов нефтедобычи;
- разработка и поставка комплекса оборудования для переработки хмеля.

Институт развил и свою специфическую деятельность: конструкторская и технологическая документация на ряд типов коммутационной аппаратуры и электроприводов продана 22 предприятиям, проводящим диверсификацию или конверсию своего производства. В институте получено 1465 авторских свидетельств и патентов.

Вот некоторые наши крупнейшие партнеры: ОАО “ГАЗ”, ОАО “АвтоВАЗ”, ОАО “Татнефть”, ОАО “Электросила”, ЦКБ МТ “Рубин”, РКК “Энергия”, МУП “Мослифт”, ООО “АББ Автоматизация”, ОАО “ЧЭАЗ”, ОАО “Кашинский завод электроаппаратуры”, ОАО Медногорский завод “Уралэлектро” и многие другие.

Деятельность института не осталась незамеченной в России и мире. Получены:

- “Свидетельство о государственной аккредитации научной организации”;
- лицензии на разработку и поставку оборудования для нефтяной и газовой промышленности;
- лицензии на разработку и поставку аппаратуры для объектов Минобороны;
- международные награды “Факел Бирмингема” за выживание и развитие в сложных экономических условиях” и “Гран-при Америки за качество и сервис”;
- сертификат “TЮФ СЕРТ”, подтверждающий соответствие системы качества в институте требованиям международной системы стандартов ИСО-9001.

Возвращаясь к роли руководителей и всего коллектива в становлении, развитии института, хочется отметить верных помощников директоров на всем пути их “следования” — заместителей по направлениям: А.В. Таврина (электрические аппараты), канд.техн.наук В.А. Сушко (релейная защита), канд.техн.наук А.А. Кириллова (электропривод), Е.В. Сагарадзе (электрические аппараты), А.Ф. Работаева (главный инженер), В.И. Васькина (социальная сфера).

На протяжении всей истории института и особенно в последнее десятилетие успехи института определялись, конечно, всем коллективом сотрудников, понявших свою причастность к изменениям, происходящим в стране и экономике, не противопоставивших себя администрации, не поддавшихся иждивенческим настроениям, и начавшим активный поиск работ для института, чтобы погасить все долги и начать достойную жизнь и в рыночных условиях управлять дальнейшим развитием института и, значит, благосостоянием каждого его сотрудника.

С юбилеем, Вас, дорогие ВНИИРОВЦЫ!

*Бочкарев В. Н. — генеральный директор ОАО “ВНИИР”,
“Заслуженный изобретатель РФ”, кандидат технических
наук, сотрудник института с 1961 г.*

Опыт разработки, внедрения и сертификации системы качества в ОАО "ВНИИР"

САГАРАДЗЕ Е.В.

Общеизвестна массовая сертификация системы качества (СК) за рубежом. До середины 90-х годов для России это не было характерным. Но в последнее время этот процесс пошел стремительно. Проблема создания и внедрения СК возникла и в ОАО "ВНИИР", который в последние годы помимо традиционно выполняемых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ стал заниматься разработкой, изготовлением и поставкой мелких серий изделий, пользующихся возрастающим спросом потребителей.

Основные причины, побудившие руководство ОАО "ВНИИР" к созданию СК и её сертификации:

1. Возрастающая конкуренция на рынке сбыта продукции (имеются в виду, как научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, так и поставки заказчику конкретных серий изделий) внутри страны, требование лицензирования деятельности. Поэтому мы стремимся не только создать СК, но и сертифицировать её.

2. Требование заказчиков.

3. Ориентация на экспорт своей продукции.

4. Улучшение имиджа предприятия.

Сертифицированная система качества является для потребителей гарантией качества выпускаемой продукции.

5. Обеспечение преемственности традиций института и накопленного опыта.

В настоящее время разработки в институте ведут специалисты, возраст которых более 50 лет, на базе своих наработок. С их уходом уйдет и накопленный опыт. Без обеспечения преемственности, которой, как мы считаем, в определенной мере в части организации и взаимосвязи способствует внедряемая СК, институту трудно продолжать успешно работать.

При выборе сертификационного органа мы остановились на общепризнанном в мире Европейском органе по сертификации "ТЮФ НОРД"-группа, работающем в России без посредников.

Для разработки и производства изделий военной техники был выбран "Военэлектронсерт".

Возникли проблемы разработки СК: заказать разработку сторонней организации или делать самим под руководством внешних консультантов. Было принято решение делать самим с привлечением внешних консультантов. Для этого был выбран приемлемый партнер — консультационный центр "КАМЭК" (г. Москва). Помимо этого, группа специалистов была направлена на обучение менеджменту качества в "Военэлектронсерт".

Поскольку институт занимается разработкой и производством изделий, была выбрана модель СК по МС ИСО 9001.

Был разработан комплекс плановых мероприятий по созданию СК.

Остановлюсь на некоторых.

Прежде всего была определена и провозглашена "Политика ОАО "ВНИИР" в области качества". Эта "Политика" была рассмотрена, одобрена на Координационном совете ОАО "ВНИИР", утверждена генеральным директором и доведена до всех сотрудников института.

В "Политику" заложены следующие цели:

1. Создание и поддержание качества при оптимальных затратах.

2. Обеспечение уверенности потребителя в соответствии продукции требованиям ТЗ, ТУ, контракту и поставке её в требуемых сроках и объемах.

И три задачи (определение по ГОСТ Р В 20.57.412-97):

1. Обеспечение.

Обеспечение качества — планирование и систематическое проведение мероприятий, необходимых для создания уверенности в выполнении каждой стадии жизненного цикла изделий в соответствии с определенными требованиями к качеству.

2. Управление.

Управление качеством — деятельность оперативного характера, направленная на выявление и устранение нарушений в процессе разработки и производства, а также вызвавших их причин.

3. Повышение (улучшение качества).

Повышение качества — планирование и систематическое проведение мероприятий, направленных на повышение качества изготовления изделий, совершенствование производства и системы качества.

Вот некоторые принципы этой "Политики":

- Полная ответственность Генерального директора и руководства ОАО "ВНИИР" перед своим заказчиком и потребителем за качество разработки и изготовления изделий.

- Проведение комплексных работ для предвосхищения требований заказчиков, дающих уверенность в полной реализации этих требований при разработке и изготовлении изделий.

- Ориентация всех сотрудников на проведение предупредительных мероприятий, обеспечивающих стабильность качества производимой продукции на всех жизненных этапах разработки и производства продукции.

- Ориентация всех сотрудников на выявление несоответствий, анализ и принятие мер по предотвращению дефектов, при этом несоответствия выявляются не для наказания, а для устранения причин их возникновения.

И ряд других, всего 13 принципов.

Как известно, в СССР были в своё время внедрены различные системы управления качеством, наиболее распространённой из которых была КС УКП. Данная система была внедрена и успешно функционировала в ОАО "ВНИИР" со своими стандартами и нормативными документами. На первом этапе Координационным советом был проведен анализ действующих стандартов предприятия (СТП) на соответствие требованиям МС ИСО 9001, определён перечень стандартов, которые после корректировки предстояло применить в составе СК, некоторые стандарты было решено аннулировать, часть стандартов предстояло создать вновь. Следовало переработать и должностные инструкции. Надо было разработать "Руководство по качеству". Всего пересмотренных и вновь разработанных СТП, составляющих СК и вошедших в "Руководство по качеству", около 60.

При этом мы не стремились на каждый раздел руководства иметь несколько СТП. Если это было возможно, то требуемые МС ИСО 9001 процедуры описывались в конкретных разделах руководства. Важно как мы понимаем не большое количество стандартов, а чтобы глубина проработки документации определялась ее применимостью.

При этом, что особенно важно, разделы "Руководства по качеству", СТП и другая нормативная документация писались высококвалифицированными сотрудниками ОАО "ВНИИР", а не копировались с документов других предприятий или писались приглашенными со стороны специалистами. Система должна "вырасти изнутри", а не быть насаждена "сверху". Создавая документацию, разбираясь в своих организационных взаимодействиях, люди лучше понимают, что они делают, какова их роль в том, что происходит в институте.

Трудности, которые пришлось преодолеть:

1. Перестройка психологии людей, то, что связано с обучением, реальным созданием и внедрением СК, перестройкой отношения людей к делу.

2. Приходилось учитывать, что объем работ в связи с созданием СК увеличился не только в службе качества, но и в структурных подразделениях, которые не должны были уменьшать свой план проводимых работ.

3. Пришлось пойти на определенные затраты, но мы понимаем, что это не убытки, а грамотные инвестиции. СК будет способствовать достижению наших перспективных потенциальных целей.

В результате этих работ:

1. Определена и документально оформлена ответственность руководства.

2. Укреплена служба качества в институте.

3. Внедрены новые стандарты, методики, необходимые в работе института.

4. Улучшена процедура идентификации всеми средствами на всех этапах работы — прослежи-

ваемость с начала до конца (от материалов и комплектующих элементов до готовой продукции) и от конца до начала.

5. Обеспеченность нормативными документами составила 100%.

6. Улучшен входной контроль и регистрация данных о качестве.

7. Заработала система корректирующих и предупреждающих действий.

8. Улучшено организационное взаимодействие между подразделениями в вопросах СК.

Таким образом, в ОАО "ВНИИР" в период со II полугодия 1999 г. по I полугодие 2000 г. система качества была разработана, внедрена и сертифицирована органом по сертификации технадзорного общества ТЮФ НОРД.

Получением сертификата по системе качества работа не кончается. Это не разовое мероприятие, а сложный и длительный процесс. Необходимо обеспечить условия для успешного функционирования системы качества.

Одним из основных условий является профессионально и результативно проводимый внутренний аудит. Материалы проведенных аудитов — это не только богатая информация о реальном положении дел в структурном подразделении, но и необходимость принятия конкретных управлений решений — корректирующих действий. В институте аудиты проводятся группой высококвалифицированных, специально обученных специалистов. У нас разработан перечень контрольных вопросов по всем элементам СК, копии которого переданы во все структурные подразделения. Перед проведением внутренних проверок разрабатываются план и программа конкретной проверки и направляются в проверяемое подразделение. При проведении запланированной внутренней проверки контролируется и выполнение корректирующих мероприятий по выявленным ранее несоответствиям.

Предполагается введение в структурных подразделениях самооценки по элементам СК.

Результаты всех проводимых аудитов рассматриваются на регулярно проводимых "Днях качества".

Кроме того, большое значение приобретет мотивация и стимулирование работников ОАО "ВНИИР" в различных аспектах, в первую очередь, в материальном.

Разрабатывается "Положение о коэффициенте качества", на основании которого будет определяться вознаграждение работников института по итогам работы за истекший месяц. Возрождается экономическое соревнование между хозрасчетными подразделениями. Учитывая высокую цену профессиональной части исполнителей — специалистов своего дела, предполагается восстановить выдвижение кандидатур на доску Почета и занесение в книгу Почета.

В ближайшее время предстоит переработка СК в соответствии МС ИСО 9000 версии 2000 г. Уже сейчас начаты подготовительные работы в этом направлении. Специалисты в СК ОАО "ВНИИР" в сентябре этого года прошли обучение в Гамбурге по версии 2000 г. В следующем году на обучение будут направлены другие специалисты.

В октябре этого года ОАО "ВНИИР" награжден "Гран-при Америки за качество и сервис". Эта награда присуждается ежегодно на основе изучения мирового рынка и опросов потребителей товаров и услуг.

Следовательно, проводимые в ОАО "ВНИИР" работы по качеству уже дают свои положительные результаты.

Изделия для электроэнергетики в разработках ВНИИР

БОЧКАРЕВ В.Н., САГАРАДЗЕ Е.В., ГЕНИН В.С., МИХАЙЛОВ Н.М., МАЛАФЕЕВ Б.И.

Сообщается о разработках ВНИИР, выполненных в последние годы для электроэнергетики: реле электромагнитном промежуточно-указательном РЭПУ-12, реле максимального постоянного тока типа РМПТ, серии реле защиты от обрыва фазы РОФ, серии реле времени РВ и др.

Несмотря на изменения в тематике работ института, вызванные переходом к рыночной экономике, работы для электроэнергетики, по-прежнему, составляют существенную долю в объемах выполняемых институтом НИОКР. Среди них выполнены разработки относительно несложных, в сравнении с микропроцессорными системами релейной защиты и автоматики, все шире внедряющимися в современную электроэнергетику, но остро необходимых и пользующихся спросом изделий. За последние годы для электроэнергетики, например, созданы:

- реле электромагнитное промежуточно — указательное РЭПУ-12;
- серия реле контроля напряжения и защиты от обрыва фазы РОФ;
- серия реле времени РВ и РСВ;
- реле максимального постоянного тока типа РМПТ

и другая низковольтная аппаратура.

Реле (рис.1) электромагнитные промежуточно-указательные типа РЭПУ-12 постоянного и переменного тока частоты 50 и 60 Гц изготавливаются для нужд народного хозяйства и для экспорта. Серия реле РЭПУ-12 позволяет заменить реле РЭУ11, производства Украины, и реле РУ21 и РУ21-1, выпускаемых ОАО "ЧЭАЗ". В сравнении с заменяемыми реле РЭПУ-12 имеет расширенные функциональные возможности за счет

наличия двух дополнительных контактов с самовозвратом и уменьшенные массогабаритные показатели. В отличие от реле РУ21, РУ21-1 реле РЭПУ-12 имеет исполнения с быстродействующими контактами и допускает возможность использования в любом рабочем положении.

Оригинальная магнитная система реле симметрична и содержит два якоря, два сердечника, два экрана, два витка, две обмотки с идентичными параметрами [1]. Общее количество контактов в реле от 2 до 4, причем имеются исполнения с быстродействующими герконными контактами. Исполнения реле по обмоткам напряжения и тока приведены в табл.1.

Имеются климатические исполнения реле У3, Т3 и Т.

На базе промежуточно-указательного реле РЭПУ-12 осваивается производство унифицированного с ним электромагнитного промежуточного реле РЭП-12. На рис.1 представлены внешний вид исполнений реле РЭПУ-12 и РЭП-12 для присоединений под пайку и под винт.

Реле электромагнитные промежуточно-указательные типа РЭПУ-12 приняты государственной комиссией с участием представителей РАО ЕЭС, получен сертификат соответствия.

Реле РОФ-11, РОФ-12, РОФ-13, РОФ-211 (рис.2) предназначены для контроля качества трехфазного напряжения и обрыва фазы.

Таблица 1

Реле с обмоткой напряжения		Реле с обмоткой тока	
U_n , В	f_n , Гц	$I_{n,пост.тока}$, А	$I_{n,перем. тока}$, А
12; 24; 48; 110; 220	=	0,006; 0,01; 0,016; 0,025;	0,025; 0,05; 0,08; 0,1; 0,16;
110; 220; 230*, 240*	50	0,05; 0,06; 0,08; 0,1; 0,16	0,25; 0,4; 0,5; 1; 2,5;
220*; 230*	60	0,25; 0,4; 0,5; 1; 4; 2,5; 4	

* — для реле, изготавливаемых на экспорт

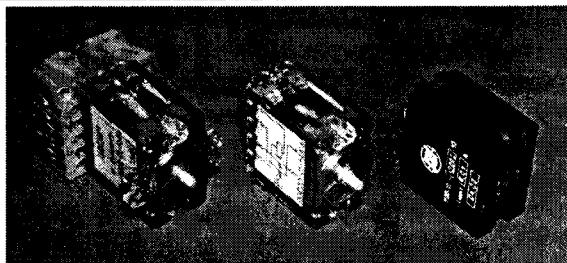


Рис.1. Реле электромагнитные промежуточно-указательные типа РЭПУ-12

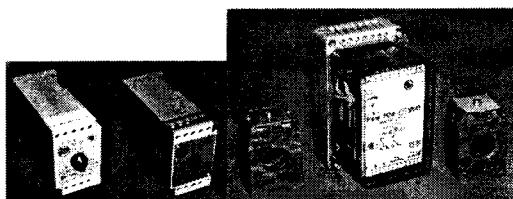


Рис.2. Реле обрыва фазы РОФ-11 и РОФ-20

Реле РОФ-11.....13 обеспечивают контроль допустимого уровня напряжения по трем фазам и порядка чередования фаз в системах трехфазного напряжения и могут использоваться в схемах автоматического управления и защиты от недопустимой асимметрии фазных напряжений и от обрыва фазы. Реле РОФ-11 срабатывают при симметричном снижении напряжения ниже $0,7U_{n,\phi}$, а при однофазном снижении напряжения (при сравнении уровня фазных напряжений в двух других фазах) — при снижении ниже $0,65U_{n,\phi}$. Реле РОФ-12, РОФ-13 применяются преимущественно для защиты асинхронных двигателей и имеют соответствующие уставки $0,5U_{n,\phi}$ и $0,75U_{n,\phi}$. Функционально реле РОФ-11, РОФ-12, РОФ-13 способны заменять реле контроля напряжения ЕЛ 11, ЕЛ 12 и ЕЛ 13. Реле

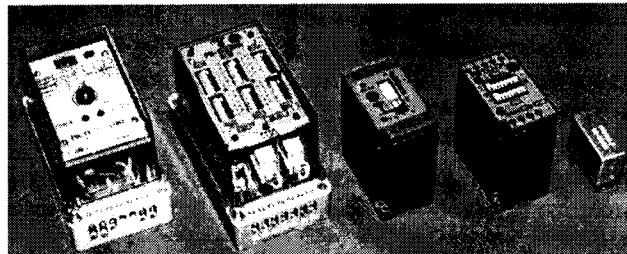


Рис.3. Реле времени РВ и PCB

РОФ-211 снабжено датчиками тока, предназначено для защиты различных нагрузок и асинхронных двигателей при:

- несимметричной перегрузке и несимметричном коротком замыкании;
- обрыве фазы и изменении порядка чередования фаз;
- снижении напряжения ниже допустимого.

Работа реле основана на контроле токов в двух фазах. Уставка реле при симметричном снижении токов равна $0,7I_n$, при появлении тока обратной последовательности — $-0,2I_n$.

Серии реле времени РВ и PCB (рис.3) включают в себя реле, предназначенные для создания выдержек времени при включении и отключении. В сериях имеются одноцепные, двухцепные и трехцепные реле с питанием от сети постоянного и переменного тока. Технические характеристики реле серии РВ представлены в табл.2 и 3, серии PCB — в табл.4 и 5. Функционально и по габаритным и установочным размерам реле РВ и PCB способны заменять ряд реле ВЛ.

Статическое реле максимального постоянного тока типа РМПТ-0 (рис.4) выполнено в соответствии с директивой РАО ЕЭС по защитам щитов постоянного тока электрических станций.

Таблица 2

Технические характеристики реле серии РВ

Тип реле	Характеристика	Диапазон уставок	Напряжение питания	Параметры выходных цепей (тип выходного реле)
РВ-130	Одноцепное, с плавным регулированием выдержки	0,1—1200 мин		=220 В, 0,25 А, $\tau \leq 0,01$ с ~220 В, 5 А, $\cos\phi \geq 0,4$ (РП-21)
РВ-150, РВ-150-1М	Трехцепное, однокомандное, со ступенчатым регулированием выдержки	0,1с—99 ч		
РВ-160, РВ-160-1М	Одноцепное, циклическое, с раздельным плавным регулированием выдержек времени включенного и выключенного состояний	1с—120 мин	24, 110, 220 В постоянного тока, 24, 110, 220, 380 В переменного тока частоты 50Гц	=110 В, 0,25 А, $\tau \leq 0,01$ с ~220 В, 1 А, $\cos\phi \geq 0,4$ (РЭК-51, РЭК-52)
РВ-170	Трехцепное, циклическое с раздельным плавным регулированием выдержек времени	0,1с—1200 мин		
РВ-180	Трехцепное, программно-циклическое с раздельным ступенчатым регулированием выдержек времени	0,1 с—99 ч		=110 В, 0,25 А, $\tau \leq 0,01$ с ~220 В, 0,5 А, $\cos\phi \geq 0,4$ (РПС-32)
РВК1М, РВК2М	Однокомандные, с выдержкой времени на включение	0,5—200 с	27 В постоянного тока	=6—36 В, 10^{-3} — 1 А, ~6—60 В, 10^{-3} — 0,5 А
РВК3	Трехцепное, однокомандное, с выдержкой времени на включение	25—1500 мс		

Таблица 3
Напряжения питания реле серии РВ

Исполнение	Род тока	Напряжение питания реле, В
РВ-1Х1	~50 Гц	220
РВ-1Х2		380
РВ-1Х3		24
РВ-1Х4	=	110
РВ-1Х5		220
РВ-1Х6	~50 Гц	24
РВ-1Х7		110

Оно предназначено для селективной защиты участков сети оперативного постоянного тока электрических станций и подстанций путем воздействия на независимый расцепитель автоматических выключателей серий ВА04-36, ВА51-39, ВА51-41, ВА57-31, ВА57-35 и др. в случае превышения тока контролируемой цепи допустимой величины.

Питание реле должно осуществляться от контролируемой сети. Оно работоспособно в диапазоне изменения напряжения питания (176...280) В. При этом реле сохраняет работоспособность на время до 0,5 с и обеспечивает сработанное состояние выходного органа в течение 0,05 с, когда напряжение в контролируемой сети снижается во время КЗ до нуля.

Реле используется со стандартными измерительными шунтами с номинальным напряжением 75 мВ, при этом номинальный ток реле ($I_{n.p}$)

определяется номинальным током шунта, допускается регулирование базисного тока (I_6) на следующие значения в долях от номинального тока реле (шунта): $0,64I_{n.p}$, $0,8I_{n.p}$ и $1,0I_{n.p}$. Реле имеет канал короткого замыкания (К3) и канал отсечки. Уставка по току срабатывания в канале К3 может ступенчато регулироваться ($I_{y.d}$): $2I_6$, $4I_6$, $6I_6$, уставки принудительной выдержки времени в канале К3: 0,1; 0,25 и 0,4 с. Обеспечена возможность плавной регулировки уставки по току срабатывания в канале К3 в диапазоне $(0,5...1)I_{y.d}$. Уставка в канале отсечки равна $10I_{n.p}$, но может быть откалибрована в соответствии с заказом на иное значение. Время срабатывания реле по каналу отсечки, t_{otc} составляет не более 0,03 с. Коэффициент возврата реле не менее 0,9. Реле имеет выход в виде сухого контакта. Конструкция реле обеспечивает переднее или заднее присоединение проводов.

Реле промежуточные двухпозиционные типа РПД-12 постоянного и переменного тока частоты 50 и 60 Гц, изготавливаются для нужд народного хозяйства и для экспорта. Реле относятся к промежуточным двухпозиционным, негерметичным, поляризованным, двухстабильным реле.

Рис.4. Реле РМПТ-0

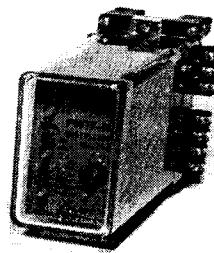


Таблица 4
Технические характеристики реле серии РСВ

Тип реле	Характеристика	Диапазон уставок	Напряжение питания, В
PCB 15-1	Одноцепное, с выдержкой времени на включение		постоянного тока 24; 110; 220
PCB 15-2	Двухцепное, с выдержкой времени на включение		
PCB 15-3	Одноцепное, циклическое, с раздельной регулировкой длительностей импульса и паузы		
PCB 15-4	Одноцепное с выдержкой времени на отключение после включения напряжения питания	(0,1...1,0; 0,3...3,0; 1...10; 3...30) с, мин, ч	
PCB 15-5	С выдержкой времени на отключение после отключения напряжения управления при сохранении напряжения питания		
PCB 15-6	С выдержкой на включение, отключение и циклическое (при одинаковых длительностях импульса и паузы)		переменного тока частоты 50 Гц 110; 220; 230; 240
PCB 16-1	Одноцепное с выдержкой времени на включение		
PCB 16-2	Двухцепное с выдержкой времени на включение		
PCB 16-3	Реле счета импульсов	(0,1...99,9) с, мин, ч 1,0—999 с, мин	
PCB 16-4	Одноцепное, с выдержкой времени на отключение после включения напряжения питания		

Таблица 5
Технические характеристики выходных контактов реле серии РСВ

Категория применения, род тока	Характер нагрузки	Номинальное коммутируемое напряжение, В	Коммутируемый ток, А		Коммутационная износостойкость, циклы
			Включение	Отключение	
AC-11, переменный	Индуктивная, $\cos\phi_{вкл} \geq 0,7$ $\cos\phi_{откл} \geq 0,4$	24	5	0,5	1 000 000
		110	4	0,4	
		220	3	0,3	
DC-11, постоянный	Индуктивная, $\tau \leq 0,035$ с	24	0,6 0,16 0,08	200 000	
		110			
		220			

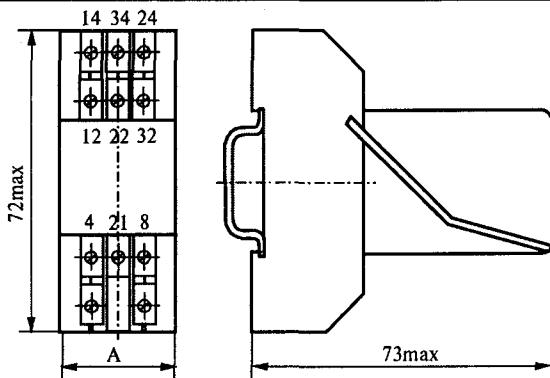


Рис.5. Реле РПД-12

Реле РПД-12 имеют климатические исполнения УХЛ4 или О4; конструктивные исполнения: для заднего присоединения под пайку, для переднего присоединения под винт с розеткой и монтажной пластиной и для переднего присоединения под винт с розеткой с креплением на рейку. Типоисполнения реле по напряжению питания цепи управления приведены в табл.6, по виду и количеству контактов — в табл.7. На рис.5 в ка-

честве примера показаны габаритные и установочные размеры исполнения РПД-12 с двумя переключающими контактами для переднего присоединения под винт.

Реле могут применяться в устройствах автоматики взамен реле РП-8, РП-9, РП-11, РП-12, имея существенно меньшие массогабаритные показатели, а также в качестве вспомогательных реле; могут использоваться в комплектных устройствах с повышенной устойчивостью к механическим воздействиям.

Таблица 7

Типоисполнения реле РПД-12 по виду и количеству контактов

Типоисполнение	Количество контактов
РПД-12-20	2 переключающих
РПД-12-30	3 переключающих
РПД-12-70	7 переключающих

Ведутся разработки установочных изделий, в частности, разъемов и клемников. Их номенклатура достаточно широка, несмотря на это, имеется возможность, при наличии потребности, в короткие сроки освоить новые изделия по заявкам потребителей.

Представленное выше показывает, что основными направлениями работ ОАО ВНИИР для энергетики является разработка новых средств автоматики, телемеханики и релейной защиты с улучшенными техническими характеристиками для комплексного решения задачи автоматизации нижнего уровня систем управления объектов энергетики. Важной задачей остается совершенствование электромеханических устройств.

Список литературы

1. Пат. 2074440 С1 RU. Электромагнитное реле/ Б.И.Малофеев, Н.К.Шаронова//Открытия. Изобретения. 1997. № 6.

Таблица 6
Типоисполнения реле РПД-12 по напряжению питания
цепи управления

Род тока	Номинальное напряжение, В	Напряжение срабатывания в нормальных климатических условиях, В	Мощность, потребляемая при номинальном напряжении питания
Постоянный	24; 48; 110; 220	$0,7U_n$	10 Вт
Переменный 50 Гц 50 Гц (экспорт) 60 Гц (экспорт)	100; 110; 220; 127; 230; 240 220; 230	$0,8U_n$	12 В·А

Основные направления работ ОАО «ВНИИР» в области создания регулируемых электроприводов постоянного и переменного тока, устройств управления и автоматики для различных отраслей промышленности

ГОРЧАКОВ В.В., НИКИТИН В.М.

Изложены основные направления работ ОАО «ВНИИР» в области регулируемых электроприводов постоянного и переменного тока, систем управления и автоматики для различных отраслей промышленности, позволяющие заказчику ориентироваться при выборе для своих объектов изделий, изготавливаемых институтом.

С момента основания института (1961 г.) в области автоматизированного электропривода ОАО «ВНИИР» ведутся работы по научному исследо-

ванию, разработке и изготовлению как на своем опытном производстве, так и серийном на ряде заводов электротехнической промышленности

(ОАО "ЧЭАЗ" в Чебоксарах, ОАО "Электровыпрямитель" в Саранске, завод НВА в Москве, заводы "Электромашина" в Харькове и Прокопьевске и др.) комплектных регулируемых электроприводов для различных отраслей промышленности.

ВНИИР был в СССР головным институтом в электротехнической промышленности в области электроприводов для станкостроения и робототехники, а это наиболее сложные, точные и прецизионные приводы. За ним было закреплено электрооборудование для волочильных станов, механизмов стройиндустрии (цементные вращающиеся печи и др.), установок электротермии (дуговые, шлаковые, рудовосстановительные и другие печи). До 70% всего объема регулируемых электроприводов, производимых в СССР, выпускалось по разработкам ВНИИР.

В настоящее время, учитывая спрос на рынке и расширение областей применения, номенклатура электроприводов постоянно обновляется и расширяется.

В состав ее входят:

Электроприводы с двигателями постоянного тока:

- однофазные тиристорные и транзисторные, нереверсивные и реверсивные мощностью до 5 кВт;
- трехфазные тиристорные нереверсивные и реверсивные, одно- и двухзонные мощностью до 250 кВт. Ведутся поставки электроприводов мощностью до 1500 кВт и напряжение питания до 750 В.

Электроприводы с двигателями переменного тока:

- транзисторные одно- и многокоординатные (до 6) с синхронными электродвигателями с возбуждением от постоянных магнитов на моменты 0,47–70 Н·м, 1000–6000 об/мин (есть исполнение тиристорных электроприводов на моменты 70–170 Н·м, 2000 об/мин), в том числе с тормозом и датчиками пути до 2500 имп/об, с контроллером диагностики и без него; имеется исполнение автономных электроприводов с обеспечением режимов работы: позиционирование, контурное управление, режим задания скорости;

■ транзисторные со стандартными асинхронными электродвигателями мощностью до 15 кВт, а также для питания электрошпинделей частотой до 300–800 Гц с диапазоном регулирования скорости 1:20; создано исполнение со стабилизированным источником питания, обеспечивающим надежную работу электропривода в сетях ограниченной мощности или большой протяженности, в которых возможны значительные колебания напряжения;

■ тиристорные с непосредственным преобразователем частоты и двухфазными специальными или трехфазными стандартными асинхронными электродвигателями мощностью 3–400 кВт,

1000–2000 об/мин, с диапазоном регулирования скорости 1:20; 1:1000; готовятся к поставке электроприводы со специальными трехфазными асинхронными электродвигателями на мощности до 1250 кВт (25 Гц) для насосов водоснабжения;

■ транзисторные частотно-регулируемые на IGBT-модулях для управления асинхронными электродвигателями мощностью до 200 кВт;

■ пусковые тиристорные устройства на ток 630 А, обеспечивающие мягкий пуск и защиту от аномальных режимов работы асинхронных электродвигателей (погружные насосы нефтедобычи, насосы перекачки технологических жидкостей и др.);

■ устройства для плавного безударного пуска электродвигателей переменного тока на напряжение 6–10 кВ, мощностью до 4000 кВт (центробежные насосы, компрессоры и вентиляторы);

■ преобразователи и станции с управлением пуском на новой современной элементной базе для электроприводов по схеме асинхронно-вентильного каскада на мощности до 5000 кВт (насосы и воздуховоды).

По разработкам института выполнены поставки систем управления морским навигационным прожектором для атомных ледоколов, электроприводов двигательно-рулевого комплекса подводного аппарата "Нептун" (демонстрационной подводной лодки) на базе специальных герметизированных (в погружном исполнении) синхронных электродвигателей с возбуждением от постоянных магнитов и транзисторных преобразователей, встроенных в шкаф брызгозащищенного исполнения.

В последние годы институтом, в дополнение к традиционным областям применения, ведутся разработки и поставки значительного количества регулируемых электроприводов (в основном переменного тока), систем автоматики и реле защиты асинхронных двигателей для объектов нефте- и газодобывающей промышленности: для станков-качалок нефти, погружных насосов нефтедобычи, насосов для перекачки технологических жидкостей и систем водоснабжения и канализации, задвижек магистральных газопроводов и др., причем поставки ведутся, в том числе в шкафах управления, для наружной установки при работе на открытом воздухе при температурах от –400 до +400°C.

Создан комплекс наземного и подземного оборудования для электронагрева нефтекважин с целью их очистки от парафина.

Ведутся работы по созданию энергосберегающего оборудования путем регулирования скорости насосов и вентиляторов, регулирования и стабилизации напряжения в линиях освещения и др.

В настоящее время на основе регулируемых электроприводов и дополнительных функциональных блоков создан комплекс средств для уп-

равления движением механизмов в различном технологическом оборудовании, позволяющий:

- осуществлять глубокое регулирование скорости одного или нескольких механизмов в диапазоне до 1:10000;
- управлять или поддерживать с высокой точностью заданное усилие натяжения при перемотке длинномерных материалов;
- обеспечивать синхронное и синфазное движение двух или более (до десяти) механизмов с заданной скоростью и возможностью подстройки углового положения любого из них по отношению к другим, в том числе и на ходу;
- прецизионное по точности поддержание соотношения скоростей (доли процента) между несколькими механизмами (последовательный электрический редуктор);
- осуществлять программируемые перемещения одного или нескольких механизмов на заданную величину с заданной скоростью и заданным ускорением на участках разгона и торможения (кадр движения);
- формировать циклы движений из нескольких кадров для работающего в заданном технологическом режиме одного или нескольких механизмов (автомат).

Вместе с выполнением любых из указанных функций комплекс средств позволяет выполнить и чисто логические операции:

- включение и выключение электрических аппаратов;
- отсчет времени между кадрами движения;
- прием логических команд от кнопок, конечных выключателей и др.;
- вывод цифровой и текстовой информации на дисплей пульта;
- связь по последовательному каналу с другими устройствами, в том числе и с ЭВМ верхнего уровня.

Набор средств включает:

- бесконтактные (бесколлекторные) высокомоментные электродвигатели с возбуждением от постоянных магнитов и встроенными датчиками скорости, пути и магнитоэлектрическим тормозом (0,23–7,0 Н·м, 2000, 3000, 4000 об/мин);

- датчик натяжения, устанавливаемый на механизм;
- силовые электронные и микропроцессорные блоки в объединяющей их кассете;
- пульт с клавиатурой и дисплеем.

По желанию заказчика электронные блоки вместе с пультом, коммутационной и защитной аппаратурой, трансформаторами и другим электрооборудованием могут быть установлены в шкаф управления и поставлены заказчику вместе с электродвигателями, датчиками, соединительными кабелями и сопроводительной документацией комплектно.

На объекте у заказчика могут быть выполнены пуско-наладочные работы, и поставленное оборудование сдано под гарантийное обслуживание.

На базе комплекса средств уже разработаны и поставляются опытным производством ОАО «ВНИИР»:

- система натяжения и отпуска основы для ткацких станков;
- система управления механизмом выравнивания ремиз ткацких станков;
- системы синхронизации для стеклоформующих автоматов и линий по производству листового стекла;
- система управления лопастями ветроустановки.

В стадии окончания разработки находятся:

- электронный регулятор для механизма смены цвета ткацких станков (двух- и четырехцветные варианты);
- терминал для учета и контроля производительности ткацких станков.

Следует заметить, что институтом разработаны и поставляются электроприводы с расширенным температурным диапазоном эксплуатации. Так, применение в качестве датчиков обратной связи вращающихся трансформаторов позволило расширить температурный диапазон эксплуатации для двигателей от -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$. Такое техническое решение было применено в электроприводах управления лопастями ветроустановок и в стекольном электрооборудовании.

Тиристорные электроприводы постоянного тока

ИВАНОВ А.Г., АРЗАМАСОВ В.Л., МАСЛОВА М.Н., МИХАЙЛОВ В.В., УШАКОВ И.И., ЛАЗАРЕВ Д.В.

Приведены сведения о разработанных и внедренных сериях тиристорных преобразователей и электроприводов постоянного тока (ЭП) на их основе за 40 летний период развития ВНИИР. Рассмотрены особенности и технические характеристики тиристорных ЭП, выпускаемых по разработкам ВНИИР в настоящее время. Показаны направления модернизации ЭП.

Одним из направлений работ ВНИИР в области создания электроприводов (ЭП) со стати-

ческими преобразователями является создание и совершенствование тиристорных ЭП постоянного

Таблица 1

Обозначение серии изделия (преобразователя, ЭП, устройства)	Назначение	Предприятие-изготовитель
1. БУ3509, БУ3509В 2. БТО-2*	Однофазные тиристорные преобразователи для ЭП	
3. БУ, ШУ 4. БУВ, ШУВ 5. БТУ3000	Трехфазные тиристорные станции управления для ЭП	ОАО «Чебоксарский электроаппаратный завод» (ЧЭАЗ), г. Чебоксары
6. ЭПУ1 7. ЭПУ1М* 8. ЭПУЗ	Трехфазные тиристорные ЭП	
9. ПТО 10. ПТТ, ПТТР, ПТТБ 11. АТ, АТР 12. ТЕ, ТЕР, ТП, ТПР* 13. ШТУ	Однофазные тиристорные преобразователи	ОАО «Электровыпрямитель», г. Саранск
14. ЭТО 15. ЭТ1 16. ЭПУ2-1*	Трехфазные тиристорные преобразователи	
17. ЭТУ3000 18. ЭТУ1*	Однофазные нереверсивные тиристорные ЭП	ОАО «Прогрессэлектро», г. Москва
19. ПТОР 20. ТЕР 21. БУ3609	Трехфазные тиристорные ЭП	Электромеханический завод (АЭМЗ), г. Александрия (Украина)
22. ЭПУ2-2*	Однофазные реверсивные тиристорные преобразователи для ЭП	Завод «Электромашин», г. Харьков (Украина)
23. БУ3509 24. ЭПУ2-1* (модификация ПЭТЗ)	Однофазные нереверсивные тиристорные преобразователи и ЭП	Электротехнический завод (ПЭТЗ), г. Пржевальск (Киргизия)
25. ЭПУ1* (модификация завода «Электромашин»)	Трехфазные тиристорные ЭП	ОАО «Электромашин», г. Прокопьевск
26. ЭПУ1М, ЭПУЗ, БТО-2, ЭПУ4, СЭПТ*	Тиристорные ЭП на токи до 1000 А и более	ОАО «ВНИИР», г. Чебоксары

* Выпускаются в настоящее время

го тока. Данные работы начались в 60-х годах и продолжаются по настоящее время.

Серии тиристорных устройств и ЭП на их основе нашли широкое внедрение на заводах-изготовителях электротехнической промышленности (табл.1).

Область применения: общепромышленное назначение, в том числе для станкостроения, автомобилестроения, металлургии, нефтегазодобывающей, целлюлозно-бумажной, полиграфии, легкой, пищевой и других отраслей промышленности.

В зависимости от мощности и функционального назначения разработанные серии по силовой части имеют следующие особенности:

— в ЭП мощностью до 8 кВт применяются одно- и двухфазные мостовые бестрансформаторные силовые схемы выпрямления на базе тиристорных и диодных модулей, а также симисторов; при этом в нереверсивных ЭП используются полууправляемые несимметричные выпрямители (ПУВ), а в реверсивных ЭП — симметричные УВ;

— в ЭП мощностью до 250 кВт применяются трехфазные мостовые схемы выпрямления на базе тиристорных модулей и таблеточных тиристоров, размещенных на общих охладителях;

— ЭП мощностью до 500 кВт и более выполнены на основе таблеточных тиристоров и с параллельной работой вышеуказанных УВ.

Ниже приведены основные технические характеристики выпускаемых в настоящее время ЭП постоянного тока разработки ОАО "ВНИИР". Указанные электроприводы освоены в ОАО "ЧЭАЗ", опытным производством ОАО "ВНИИР", ЗАО "НТЦ Электропривод" при ОАО "ВНИИР".

Электроприводы унифицированные трехфазные постоянного тока серий ЭПУ1М и ЭПУЗ

Электроприводы предназначены для создания реверсивных и нереверсивных систем управления двигателями постоянного тока с однозонным и двухзонным регулированием скорости.

В состав электропривода входит:

- блок управления для питания якоря и возбуждения двигателя;
- блок ввода;
- силовой трансформатор или токоограничивающий реактор;
- аппаратура защиты (предохранители или автоматический выключатель);
- электродвигатель серии 2ПБВ, ДПУ, ДР, 4П, 4ПФ и др. (по согласованию);
- задатчик скорости технологический.

Электроприводы ЭПУЗ представляют собой новое поколение приводов постоянного тока и заменяют серии ЭПУ1 и ЭПУ1М.

Отличительные особенности ЭПУЗ:

- улучшены потребительские свойства за счет новых схемотехнических и конструктивных решений;

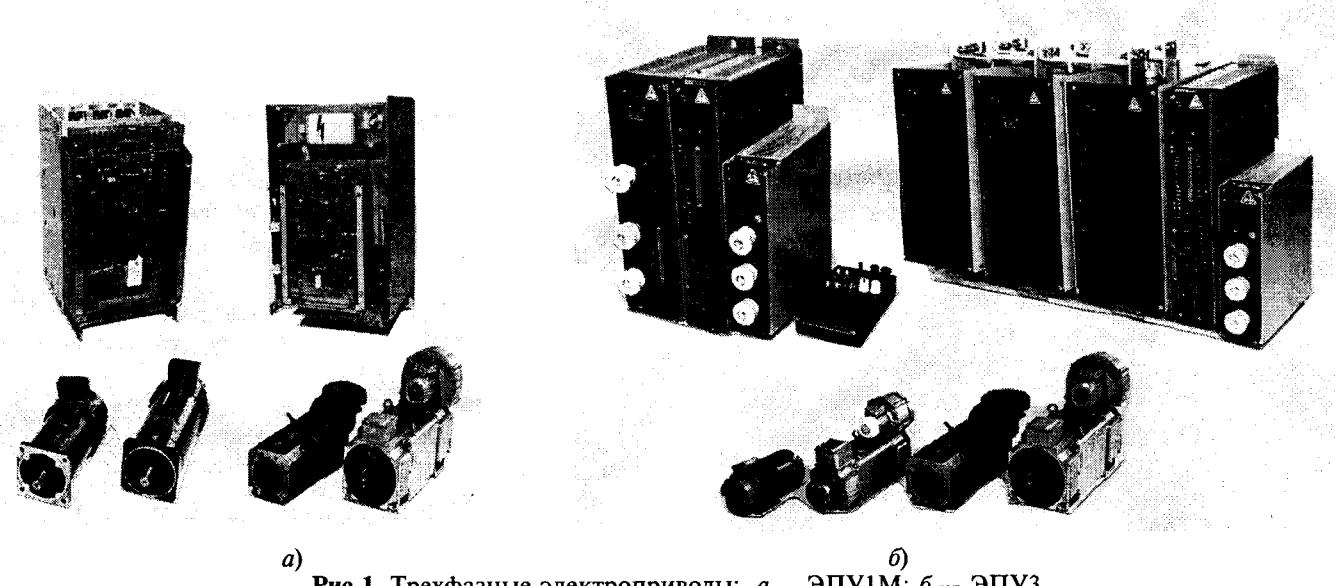


Рис.1. Трехфазные электроприводы: а — ЭПУ1М; б — ЭПУЗ

- электропривод размещен в трех отдельных конструктивных блоках (управления, силовой, возбудитель), имеющих минимальную установленную площадь и обеспечивающих набор любой модификации преобразователя под различные типы и мощности двигателей с электромагнитным возбуждением или с возбуждением от постоянных магнитов; при этом в случае необходимости обеспечивается быстрый съем любого из указанных блоков для наладочных или ремонтных целей;

- электропривод имеет диагностический наладочный пульт, обеспечивающий управление электроприводом и вывод по двухпроводной линии на осциллограф либо прибор информации всех

контрольных точек основных узлов системы управления;

- обеспечивается наращивание тока и мощности электропривода за счет параллельного соединения силовой части, размещаемой в общем шкафу ($I = 1250$ А).

- в системе управления применены следующие отличительные технические решения:

- питание выполнено от трехпроводной сети;

- разработана бесподстроечная СИФУ, выполненная на гибридных

интегральных схемах [1,2];

- упрощена двухконтурная система подчиненного регулирования с линеаризацией в прерывистом режиме;

- усовершенствована система двухзонного регулирования скорости за счет улучшения схемотехнического решения в части регулятора ЭДС [3];

- применен принцип автосброса устройства защиты, выполненный в функции положения коммутационных аппаратов в якорной цепи и цепи возбуждения двигателя, что обеспечивает возможность коммутации аппаратуры при любой последовательности ее включения [4];

- усовершенствована система защит и повышена ее помехоустойчивость;

Таблица 2

Наименование параметра	Значение
Номинальный ток, А ЭПУ1М ЭПУЗ	25, 50, 80, 100, 200, 400, 630 25, 40, 80, 160, 200, 400, 630
Номинальное выпрямленное напряжение, В	115, 230, 460
Напряжение возбудителя, В	110, 220
Кратность рабочей перегрузки: исполнения П (в течение времени не более 0,2 с) исполнения Д, Е, М (в течение времени не более 10 с)	4—6 2
Полоса пропускания частот замкнутого контура скорости, Гц: исполнения П исполнения Д, М (мощностью до 30 кВт)	35 20
Диапазон регулирования скорости: исполнение П исполнение Д исполнение М исполнение Е	10000 1000 в том числе по полю — до 5 1000 20
Преобразователь: габаритные размеры (Ш×В×Г) и масса ЭПУ1М	от 163×350×265 до 400×1000×370 мм от 7 до 80 кг
ЭПУЗ	от 194×418×308 до 642×520×305 мм от 6,5 до 50 кг
Степень защиты	IP00

— применена новая перспективная элементная база.

Технические характеристики электроприводов приведены в табл.2.

Электроприводы однофазные постоянного тока серий БТО-2 и ЭПУ4

Реверсивные тиристорные блоки серии БТО-2 мощностью до 5 кВт и **реверсивные (ЭПУ4-2)** и **нереверсивные (ЭПУ4-1)** тиристорные электроприводы серии ЭПУ4 мощностью до 8 кВт отличаются от трехфазных электроприводов простотой, низкой стоимостью, малыми габаритами и отсутствием силового трансформатора. Выпускаются взамен электроприводов серий ЭПУ2-1 и ЭПУ2-2.

В состав электропривода входят:

- блок управления;
- блок ввода;
- сглаживающий реактор;
- задатчик скорости;
- двигатель серии 4П, 4ПФ, ПБВ, 2ПБВ, ДПУ, ДР и др. (по согласованию).

Отличительные особенности:

- улучшение потребительских свойств и повышение надежности;
- применение малогабаритной СИФУ на базе специализированной интегральной микросхемы;
- применение высокочувствительного многофункционального датчика тока;
- усовершенствование системы управления и расширение номенклатуры защит;
- усовершенствование системы регулирования за счет введения параллельного регулятора тока, обеспечивающего повышение устойчивости и улучшение динамических свойств [5];
- применение многофункционального сглаживающего реактора и управление на его основе структурой электропривода с обратной связью по ЭДС (исполнение Е).

Применение ЭПУ4 позволяет заменить трехфазные трансформаторные электроприводы серий ЭПУ1М в диапазоне токов 25—40 А со снижением стоимости в целом за счет исключения согласующего трансформатора. Электроприводы ЭПУ4-1 и ЭПУ4-2 полностью унифицированы между собой по конструктивным решениям.

Технические характеристики электроприводов приведены в табл.3.

Специальный трехфазный электропривод постоянного тока (СЭПТ) мощностью до 1500 кВт

Электропривод выполняется нереверсивным и реверсивным с однозонным и двухзонным регулированием скорости двигателя на базе схемотехнических решений электроприводов ЭПУ1М и ЭПУ3.

В состав СЭПТ входят:

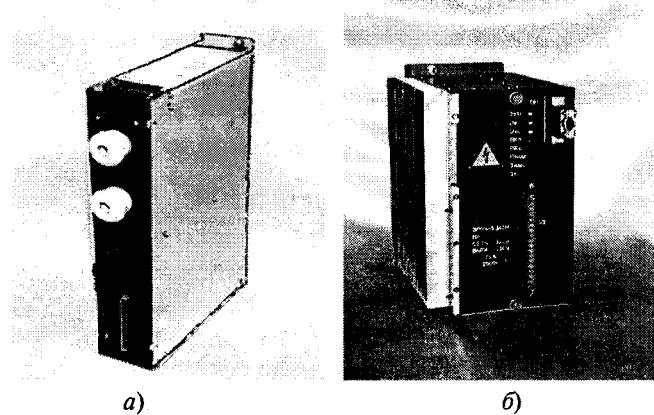


Рис.2. Однофазные электроприводы:
а — БТО-2; б — ЭПУ4

■ шкаф управления, включающий силовой блок, блок управления, устройства и аппаратуру защиты, измерительные приборы, приборы индикации и сигнализации;

■ согласующий силовой трансформатор или токоограничивающий реактор.

Технические характеристики электропривода приведены в табл.4.

Основная функциональная схема рассмотренных ЭП выполнена по двухконтурной системе регулирования с регуляторами скорости РС и тока РТ. При этом в трехфазных ЭП, имеющих меньшую зону прерывистого тока (РПТ), используется последовательный РТ с устройством линеаризации характеристик (УЛХ), а в однофазных ЭП, имеющих большую зону РПТ, применен параллельный ограничитель тока.

Применительно к двухзонному ЭП на рис.3 в качестве примера приведена функциональная схема ЭПУ3.

В настоящее время наряду с бурным развитием ЭП переменного тока в России, СНГ и за рубежом выпускается большое количество двигателей постоянного тока, используемых в регулируемых ЭП. Поэтому работы в области дальнейшего совершенствования регулируемых тиристорных ЭП постоянного тока, особенно для России и стран СНГ, остаются актуальными.

Таблица 3

Наименование параметра	Значение
Номинальный ток, А БТО-2 ЭПУ4	10, 25 5, 10, 25, 40
Номинальное выпрямленное напряжение, В	115, 230
Полоса пропускания частот замкнутого контура, Гц	10
Диапазон регулирования скорости: исполнение М исполнение Е	2000 20
Габаритные размеры (Ш×В×Г) и масса Преобразователь БТО-2	78×420×240 мм 7 кг
Преобразователь ЭПУ4	от 110×235×205 до 155×235×230 мм от 2,5 до 5 кг
Степень защиты	IP00

Таблица 4

Наименование параметра	Значение
Напряжение питающей сети: на входе трансформатора, кВ на выходе трансформатора, В	0,38; 6, 10 380, 660 и др.
Номинальный выпрямленный ток, А	630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000
Номинальное напряжение двигателя, В	440, 660, 750
Номинальная мощность двигателя, кВт	от 200 до 1500
Диапазон регулирования скорости: по каналу якоря по каналу возбуждения	1000 3
Габаритные размеры (Ш×Г×В) и масса	от 800×800×1800 до 800×1200×1800 мм до 350 кг
Климатическое исполнение	УХЛ4
Степень защиты	IP20 и др.
Охлаждение	Воздушное принудительное

Направлениями модернизации ЭП постоянного тока являются:

- разработка новых технических решений, обеспечивающих конкурентоспособность изделий;
- совершенствование структур регулирования с применением рациональных аналоговых и цифровых принципов управления;
- улучшение динамических свойств и повышение быстродействия;
- повышение диапазона и точности регулирования скорости;
- повышение максимальной скорости;
- повышение надежности, в том числе за счет увеличения степени интеграции элементов в силовой части и системе управления;
- улучшение массогабаритных показателей;
- применение развитой диагностики, широ-

кой номенклатуры защит и сервисных устройств (пультов и др.);

— применение специализированных БИС, ГИС, микропроцессоров и микро-ЭВМ.

Наиболее перспективно в этом плане применение в силовой части транзисторов IGBT и интеллектуальных запираемых тиристоров IGCT, а в системе управления — микропроцессоров. В части построения системы управления ЭП целесообразно иметь два варианта — аналоговый и цифровой. В зависимости от назначения ЭП, его стоимости и степени подготовки эксплуатационного персонала заказчиком выбирается необходимый вариант ЭП.

В ОАО "ВНИИР" разработана и испытана микропроцессорная система регулирования ЭП постоянного тока (рис.4), реализующая структуру по рис.3.

Особенностями ЭП являются:

- применение микропроцессорных наборов, образующих микропроцессорный контроллер;
- применение самонастройки для определения параметров объекта регулирования и регуляторов системы управления;
- применение последовательного канала для связи с системой верхнего уровня и компьютером;

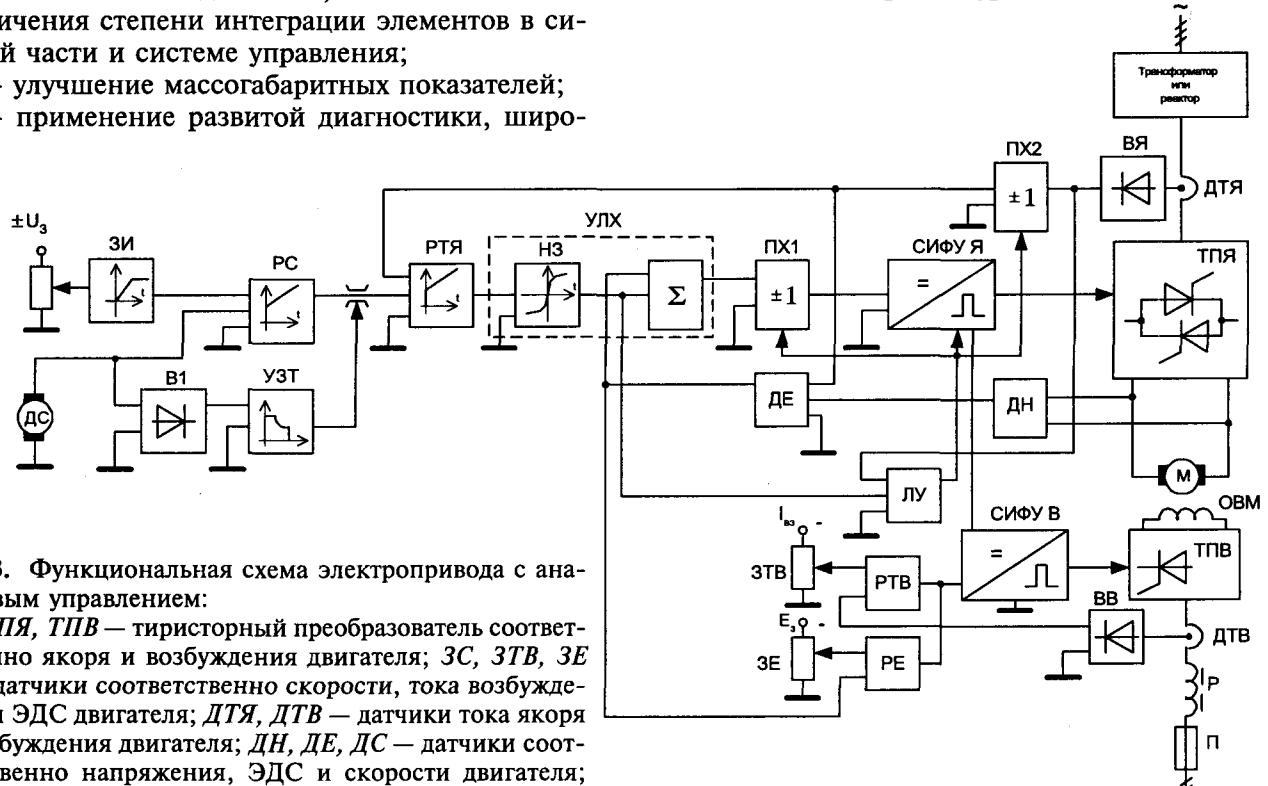


Рис.3. Функциональная схема электропривода с аналоговым управлением:

ТПЯ, ТПВ — тиристорный преобразователь соответственно якоря и возбуждения двигателя; ЗС, ЗТВ, ЗЕ — задатчики соответственно скорости, тока возбуждения и ЭДС двигателя; ДТЯ, ДТВ — датчики тока якоря и возбуждения двигателя; ДН, ДЕ, ДС — датчики соответственно напряжения, ЭДС и скорости двигателя; РТЯ, РТВ, РЕ, РС — регуляторы соответственно тока

якоря, тока возбуждения, ЭДС и скорости двигателя; ЛУ — логическое устройство разделочного управления ТПЯ; ПХ1, ПХ2 — переключатели характеристик; УЛХ — устройство линеаризации характеристик ТПЯ в РПТ; СИФУ Я, СИФУ В — система импульсно-фазового управления соответственно ТПЯ и ТПВ; ВЯ, ВВ — выпрямители для ДТЯ и ДТВ; УЗТ — узел зависимого от уровня скорости токоограничения

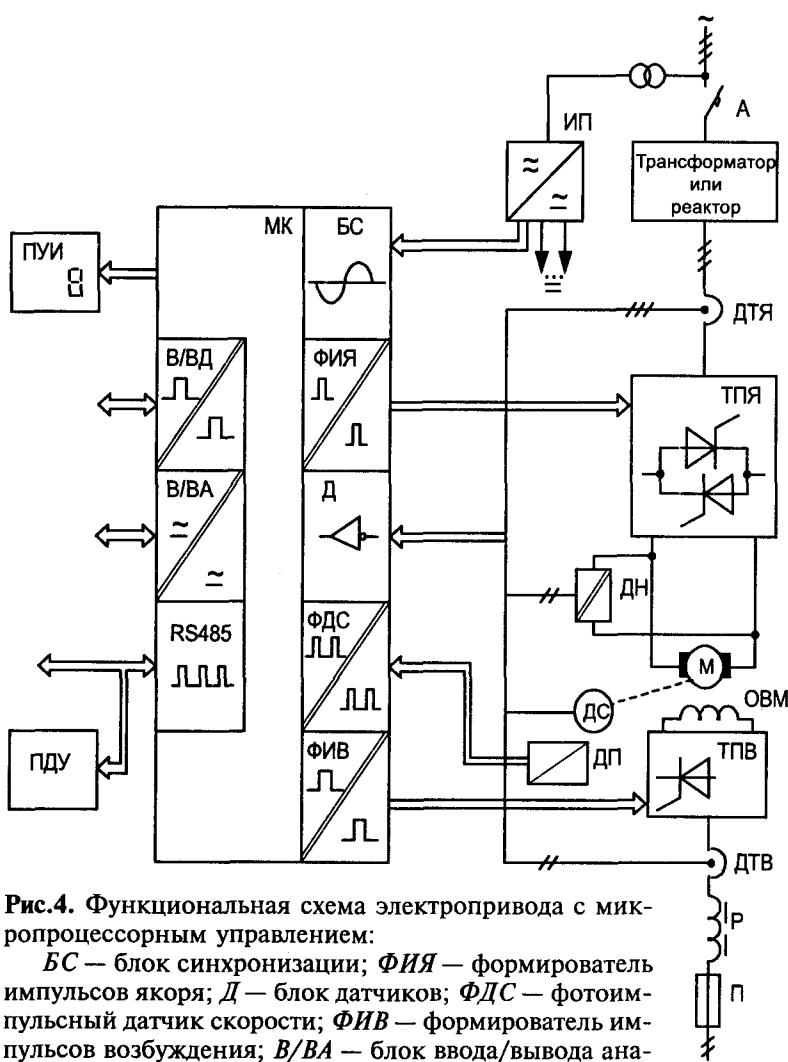


Рис.4. Функциональная схема электропривода с микропроцессорным управлением:

БС — блок синхронизации; ФИЯ — формирователь импульсов якоря; Д — блок датчиков; ФДС — фотоимпульсный датчик скорости; ФИВ — формирователь импульсов возбуждения; В/ВА — блок ввода/вывода аналоговых сигналов; В/ВД — блок ввода/вывода дискретных сигналов; RS485 — последовательный канал RS485; ПУИ — пульт управления и индикации; ПДУ — пульт дистанционного управления; М — двигатель постоянного тока; ДП — датчик положения (остальные обозначения — по рис.3)

— применение пульта для управления, индикации параметров и отказов ЭП.

Цифровая система управления в соответствии с функциональной схемой (рис.4) включает в себя:

— источник питания (ИП) устройств управления, регулирования, защит ЭП, преобразующий сетевое переменное напряжение в систему напряжений постоянного тока для питания системы управления и в систему напряжений переменного тока для синхронизации с сетью;

— микропроцессорный контроллер (МК), формирующий сигналы управления режимами работы ЭП: управляющие импульсы на управляемые тиристорные преобразователи якоря и возбудителя (ТПЯ и ТПВ) в соответствии с заданными параметрами и схемой регулирования, сигналы защиты и аварийного отключения ЭП, прием и передачу внешних управляющих, задающих и информационных сигналов;

— формирователь управляющих импульсов якоря (ФИЯ), усиливающий управляющие импульсы на силовые тиристоры ТПЯ с гальваническими несвязанными входными и выходными цепями (то же для возбуждения — ФИВ, ТПВ);

— блок датчиков (Д) преобразования сигналов обратных связей датчика тока якоря (ДТЯ), датчика тока возбуждения (ДТВ), датчика напряжения (ДН), датчика скорости (ДС) (тахогенератора), датчика положения (ДП);

— блок фотоимпульсного датчика скорости (ФДС), обрабатывающий сигнал с ДП;

— пульт управления и индикации (ПУИ) (встроенный) с клавиатурой, элементами индикации для программирования режимов работы, задания и отображения текущих параметров, диагностирования неисправностей ЭП;

— пульт дистанционного управления (ПДУ), соединенный с МК последовательным каналом связи;

— блок соответственно аналогового и цифрового ввода/вывода (В/ВА и В/ВД) для передачи и приема управляющих и информационных гальванически развязанных сигналов;

— интерфейс последовательного канала RS485 для связи с внешними управляющими системами.

В состав МК входят два микропроцессора. Первый — высокопроизводительный сигнальный процессор, реализующий функцию автоматического регулирования, второй — реализует функции защиты, индикации, автоматической настройки на конкретный объект управления, связи с внешними управляющими устройствами с запоминанием всех текущих параметров во внутренней энергонезависимой памяти.

На базе рассмотренной системы микропроцессорного управления выполняются и ЭП переменного тока с НПЧ, основу которых составляет реверсивный тиристорный преобразователь (ТПЯ).

Список литературы

1. Пат. 2006148. Устройство для формирования пилюобразных опорных напряжений системы управления преобразователем/Иванов А.Г., Чернышев А.С./Открытия. Изобретения. 1993. №21.

2. Пат. 1644316. Устройство для управления вентильным преобразователем/Михайлов В.В., Ушаков И.И., Иванов А.Г./Открытия. Изобретения. 1991. №15.

3. Пат. 1644343. Электропривод с двухзонным регулированием скорости/Иванов А.Г./Открытия. Изобретения. 1991. №15.

4. Пат. 1735994. Электропривод/Арзамасов В.Л., Иванов А.Г., Маслова М.Н., Ушаков И.И./Открытия. Изобретения. 1992. №19.

5. Пат. 2079963. Реверсивный тиристорный электропривод/Иванов А.Г., Ушаков И.И./Открытия. Изобретения. 1997. №14.

Работы в области автоматизации и энергосберегающих технологий в нефтедобыче

ИВАНОВ А.Г., АЛЬТШУЛЛЕР М.И., ГЕНИН В.С., БОРИСОВ Л.Ф., ШЕПЕЛИН В.Ф.,
КИРЮШИН В.В., ЧАРОНОВ В.Я., ЕВСЕЕВ А.Н.

Сообщается о комплексе работ по автоматизации технологических процессов и снижению энергозатрат в нефтедобыче, ведущихся институтом около 8 лет. Разработаны и внедрены в эксплуатацию: система релейной защиты и управления для высоковольтных асинхронных и синхронных электродвигателей мощностью до 2 МВ·А, регулируемые электроприводы с преобразованием частоты, установки для электростимуляции скважин, средства автоматизации и телеуправления. Показано, что путем анализа ваттметрическими программами возможен контроль неисправностей и отклонений от нормы в работе насосного оборудования станка-качалки нефти.

Работы по автоматизации технологических процессов и снижению энергозатрат в нефтедобыче ведутся институтом около 7 лет. За это время в тесном сотрудничестве с отделом главного энергетика АО "Татнефть" выполнен большой комплекс работ по созданию и внедрению новой техники. Разработаны и внедрены в эксплуатацию: система релейной защиты и управления для высоковольтных асинхронных и синхронных электродвигателей мощностью до 2 МВ·А, регулируемые электроприводы с преобразованием частоты, установки для электростимуляции скважин, средства автоматизации и телеуправления.

Комплектная система защит и управления (КСЗУ) возбуждением синхронных двигателей (СД) насосов КНС мощностью до 2 МВт конструктивно содержит два функциональных модуля: модуль защит УЗДМ-50 и модуль регулирования тока возбуждения СД. Система отличается комплексным решением вопросов защиты, пуска и регулирования СД и упрощенным алгоритмом работы. Модуль защит содержит датчик асинхронного хода СД, который используется как в устройстве защиты, так и в контуре регулирования тока возбуждения. Адаптивный регулятор тока возбуждения позволяет осуществлять регулирование коэффициента мощности.

Защита высоковольтных двигателей осуществляется микропроцессорным комплектным устройством защиты УЗДМ-50. Устройство осуществляет комплексную защиту синхронных и асинхронных двигателей мощностью до 2 МВт с использованием новых алгоритмов релейной защиты, имеет развитые средства самодиагностики. Комплектное устройство защиты обеспечивает:

- защиту двигателя от аварийных и аномальных режимов работы электродвигателей согласно ПУЭ и сигнализацию о срабатывании защит с выдачей информации в канал связи;

- комплексную автоматизацию КРУ с дистанционным и местным управлением, выключателем с функциями блокировки от многократных

включений и резервирования отказа выключателя (УРОВ);

- автоматическую диагностику исправности устройства защиты с выдачей информации в канал связи;
- контроль цепей включения, отключения, автомата шины питания оперативного тока;
- подключение внешних защит — минимального напряжения, технологических защит, дуговой защиты.

Учитывая то, что ежегодно выходит из строя до 6% эксплуатирующихся электрических двигателей кустовых насосных станций, создание и внедрение более совершенного устройства защиты актуально. Новое устройство позволит уменьшить потери от простоя оборудования, потери рабочего времени на проверки и регламентные работы.

Возможно использование устройства УЗДМ-50 для защиты линий, вводных и секционных выключателей и т.д. путем корректировки программных средств.

Учитывая особенности электропитания нефтепромыслов, защита электрооборудования от неисправностей на линиях 6 (10) кВ имеет важное значение. Например, при обрыве фазы линии 6 кВ во время снежного бурана в 1997 г. в объединении "Татнефть" из-за несрабатывания защит одновременно вышло из строя до 40 электродвигателей станков-качалок.

Институтом разработано реле защиты электродвигателей РЗД-1, одна из основных функций которого — защита от обрыва фазы как на низкой 0,4 кВ, так и на высокой 6(10) кВ стороне питающего трансформатора. При обрыве фазы в выпрямленном сигнале тока появляется вторая гармоника с частотой 100 Гц. Это позволяет при сравнении токового сигнала с частью его отфильтрованного значения формировать импульсы, которые после выдержки времени отключают двигатель [1]. Реле обеспечивает срабатывание защиты и при недопустимой несимметрии напря-

жения питания. Реле также защищает двигатель при перегрузке по току.

Путем введения дополнительных функций: контроля контактного манометра на устье скважины и контроля сопротивления изоляции электродвигателя создано исполнение реле блокирующее пуск электродвигателя при критическом снижении сопротивления изоляции его статорных обмоток и подводящего кабеля и отключающее электродвигатель при превышении давления на устье скважины. Реле поставляется в доработанном конструктиве "Сура".

Выпускается исполнение реле РЗД-1 с каналом позисторной защиты. Имеется исполнение РЗД-1 с дополнительным каналом защиты по току перегрузки и дополнительным сигнальным контактом. Защита по току перегрузки, например, позволяет отключать электропривод задвижки при достижении определенного усилия дождания. За последнее время выпущено более 3000 реле РЗД-1.

На большинстве нефтепромыслов России, особенно в бассейне Волги и в Предуралье, растет фонд малодебитных скважин (до 3 т/сут). Мощность насосного оборудования на них в 4–5 раз превышает необходимую. В таких случаях меняют станок-качалку (СК), или переводят СК в периодический режим (например 1 ч работы, 3 ч паузы).

Для реализации периодического режима откачки на базе РЗД-1 разработано многофункциональное реле защиты электродвигателей РМЗУД-1. Реле имеет блочный конструктив. Реле РЗД-1 и РМЗУД-1 показаны на рис. 1. Кроме функций защиты от обрыва фазы, защиты от перегрузки, защиты от недопустимого снижения сопротивления изоляции и превышения давления на устье скважины, реле РМЗУД-1 обеспечивает управления электродвигателями станков – качалок нефти:

- включение электродвигателя при подаче питания с задержкой самозапуска от 3 до 30 с;
- включение и отключение СК по программе в режиме периодической откачки нефти с длительностью цикла до 99 ч и с дискретностью 0,5 (1) ч.

Благодаря использованию микроконтроллера, погрешность выполнения программы не более ± 1 мин. Совмещение технологических пауз в периодическом режиме в течение суток с временами типовых нагрузок в энергосистеме и высоких тарифов на электроэнергию позволяет значительно снизить затраты на оплату электроэнергии.

Для включения-отключения СК по циклической программе можно использовать также реле времени типа РВП-1,2.

Иногда работа СК в периодическом режиме нежелательна. Для приведения скорости откачки в стационарном режиме в соответствие с нефтеотдачей скважины путем регулирования числа качаний СК в единицу времени ОАО "ВНИИР"

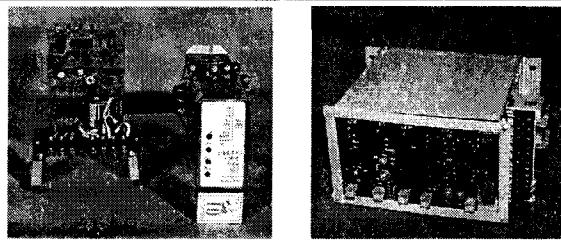


Рис.1. Реле РЗД-1 и РМЗУД-1

разработана и внедрена в эксплуатацию станция управления с частотно-регулируемым электроприводом типа РЭПСКН.

Одним из объективных показателей работы СК является коэффициент подачи насоса $\eta_{\text{п}}$ — отношение фактического количества жидкости, подаваемого насосом в единицу времени, к теоретическому. В РЭПСКН предусмотрена установка блока внутриходовой модуляции, который, при сохранении общего времени цикла работы СК, обеспечивает увеличение скорости хода вниз и уменьшение скорости хода вверх. Расчеты и испытания показали, что при разности скоростей ходов плунжера вверх и вниз до 25–30% потери в двигателе не увеличиваются, а $\eta_{\text{п}}$ возрастает на 16–21%, что совпадает с данными фирмы "Lufcin", которая сообщает об увеличении $\eta_{\text{п}}$ за счет внутриходовой модуляции на 19–25%.

В настоящее время в 11 НГДУ АО "Татнефть" находятся в эксплуатации более 100 электроприводов РЭПСКН.

Для вывода СК на режим после бурения или подземного ремонта на базе РЭЛ СКН разработана передвижная станция управления КЭПУШГН. Программное устройство станции позволяет плавно с интервалами, регулируемым от 1 ч до 7 сут, увеличивать скорость двигателя СК от начальной до номинальной. После вывода скважины на режим КЭПУШГН отключается, и СК переходит на работу со своей станции управления.

Учитывая сравнительно высокую стоимость частотно-регулируемых электроприводов, содержащую их массовое внедрение в нефтедобыче, ОАО "ВНИИР" разработал станцию управления для СК с асинхронным двухскоростным электродвигателем типа СУДЦ-1. Двухскоростные двигатели мощностью 11 и 15 кВт с синхронной скоростью 500 об/мин и 22 и 25 кВт со скоростью 1000 об/мин для СК выпускает НПП "Элмаш" (г. Владимир). Тиристорный пускателем обеспечивает плавность пуска и перехода с одной скорости на другую. Рациональный выбор параметров циклического переключения скоростей привода СК позволяет привести скорость откачки в соответствие с нефтеотдачей скважины.

Огромные возможности энергосбережения имеются в области регулирования режима работы насосно-компрессорного оборудования, где широко используются высоковольтные (6–10 кВ)

асинхронные и синхронные двигатели (СД) мощностью 4 МВт и более. В существующих в РФ системах электропривода для указанных двигателей, как правило, используется прямой или реакторный пуск СД, а регулирование расхода носителя осуществляется при помощи дросселирования. Это приводит к большим потерям электроэнергии и повышенному износу насосно-компрессорного оборудования (электродвигателя, редуктора и т.д.).

За рубежом нашли широкое распространение регулируемые высоковольтные частотные электроприводы, позволяющие осуществлять экономию энергоресурсов. Из зарубежных фирм в этом направлении больших результатов достигли фирмы "Siemens", "Allen-Bradley", ABB и др. При производстве аналогичных преобразователей частоты в ОАО "ВНИИР" их стоимость составит около 5 млн. руб. Расчеты показывают, что срок окупаемости таких систем электропривода при мощности двигателя 1,25 МВт составляет 1–2 года.

Прежде всего, по нашему мнению, уменьшился спрос на регулируемые электроприводы с высоковольтными асинхронными электродвигателями с фазным ротором по схеме асинхронного вентильного каскада (АВК). Такие электроприводы позволяют получить значительную экономию электрической энергии при сравнительно скромных капитальных затратах, которые в 2,5–3 раза меньше, чем затраты на высоковольтные частотно-регулируемые электроприводы с асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором.

Институтом разработано новое поколение электроприводов по схеме АВК (серии ЭАВК) мощностью до 5000 кВт. Два таких электропривода мощностью по 1000 кВт установлены в 2000 г. на втором водоподъеме Камского водозабора. Ожидаемая экономия электроэнергии составит свыше 7 млн. кВт·ч в год. Срок окупаемости затрат, включая замену электродвигателя и установку согласующего трансформатора для питания роторной цепи, — 1,15 года.

В связи с введением дифференцированных тарифов на электроэнергию по времени суток целесообразно отключать мощные насосные агрегаты в часы максимумов нагрузок. Это позволяет делать разработанное и внедренное в эксплуатацию **устройство плавного пуска высоковольтных двигателей**, показанное на рис.2 и обеспечивающее пуски насосных агрегатов без ударных токов.

Как это видно из рис.2, конструкция предусматривает размещение в ячейке комплектного устройства серии КРУ 2-10-20.

Устройство имеет защиты: максимальную — токовую, от перегрузки с реализацией время — токовой характеристики; от обрыва фазы, от защелки пуска; от пробоя тиристоров. Имеется сигнализация: напряжения на входе устройства; на-

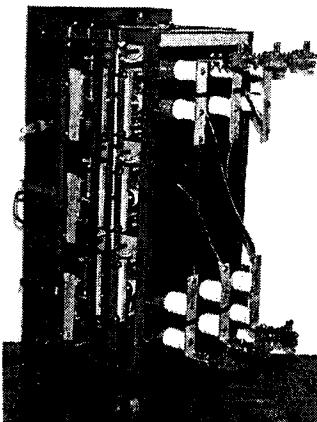


Рис.2. Устройство плавного пуска высоковольтных двигателей

пряжения питания оперативной цепи; готовности устройства к работе; завершения пуска и выхода двигателя на естественную характеристику; срабатывания защит.

Наряду с электроприводами переменного тока разработаны специальные электроприводы постоянного тока (СЭПТ) мощностью до 1,5 МВт и токами от 630 до 1500 А. СЭПТ имеют широкое применение в различных областях, в том числе они могут использоваться в установках для бурения скважин. Создается **регулируемый электропривод насоса ДНС**, приточных вентиляторов, дымососов и питательных насосов котельных агрегатов.

Работы в области создания установок электростимуляции нефтеискажин проводятся с 1994 г. В их результате созданы конкурентоспособные установки прямого электронагрева скважин типа УЭНДС [2]. Их основная особенность заключается в использовании переменного тока частоты $f \approx 2$ Гц. При этой частоте активное сопротивление нефтекомпрессорной трубы (НКТ) и обсадной колонны (ОК) практически равно их сопротивлению на постоянном токе, а индуктивным сопротивлением "НКТ-ОК" можно пренебречь. При электронагреве на частоте 2 Гц по сравнению с электронагревом частотой 50 Гц расходуется на 34% меньше электроэнергии, а необходимая мощность источника питания уменьшается на 65 %. Напряжение питания электрической цепи скважины при частоте 2 Гц уменьшается почти в три раза.

Установки УЭНДС были внедрены в опытно-промышленную эксплуатацию в АО "Татнефть" в количестве 12 шт. для депарафинизации НКТ. Установки УЭНДС могут также использоваться для эффективной добычи битума. Способ добывания битума с электронагревом подземного пласта основан на закачивании в него токопроводящей жидкости (электролита) через одну или более нефтекважину. Источник тока (электросиловая установка) подключается по кабельной линии к

опускаемым в скважины электродам, в скважинах создается избыточное давление, и током прогревается битумный пласт с помощью токопроводящей жидкости. Затем в одной или нескольких скважинах снимается избыточное давление и расплавленный битум самотеком поднимается наверх. Такая технология имеет распространение в США. Способ высокоеффективен (добыча битума может достигать 145 баррелей в сутки) и может быть реализован на базе установок электронагрева УЭНДС, которые в 1994—1998 гг. опробовались в АО "Татнефть" для депарафинизации нефтекважин.

Опробована в опытной эксплуатации система телекоммуникаций работы нефтяных качалок с использованием линий электропитания напряжением 6(10) кВ в качестве линий связи, предназначенная для регулирования режимов работы и электропотребления оборудования нефтегазодобывающих предприятий путем телеуправления и телесигнализации. В своем составе система телекоммуникаций имеет:

- диспетчерский пункт (ДП) на базе IBM - совместного персонального компьютера;
- станции управления центральные (СУЦ) на подстанциях 35/6(10) кВ;
- станции управления контролируемых пунктов (СУ КП).

СУЦ размещаются на подстанции 35/6(10) кВ, они ретранслируют команды ДП и вводят сигнал в ЛЭП 6(10) кВ через устройство присоединения, а также принимают и ретранслируют данные, передаваемые СУ КП по ЛЭП. Связь ДП-СУЦ — проводная по выделенной или телефонной линии диспетчерской связи. Структурная схема системы показана на рис.3.

Система позволяет контролировать: состояние масляных выключателей распределительных подстанций 35/6(10) кВ, питающих нефтепромыслы, состояние защит, напряжения на шинах и токи по фидерам; фиксировать несанкционированный доступ. Имеется возможность производить телеуправление коммутационными аппаратами подстанций. Результаты контроля состояния РП представляются на экране дисплея в виде мнемосхемы или в виде таблиц. Предусмотрено подключение к системе счетчиков "Альфа" фирмы "ABB Метроника". Это позволяет, учитывая, что для передачи данных используется цифровой канал, вести технический и коммерческий учет расхода электроэнергии.

Одной из особенностей системы телекоммуникаций работы нефтяных качалок является использование ваттметрграммы для контроля работы станка-качалки нефти (СКН). В отличие от динамометрирования [3], получение ваттметрграммы работы СКН не связано с применением сложных специальных датчиков [4].

Ваттметрграмма в виде, показанном на рис.4,

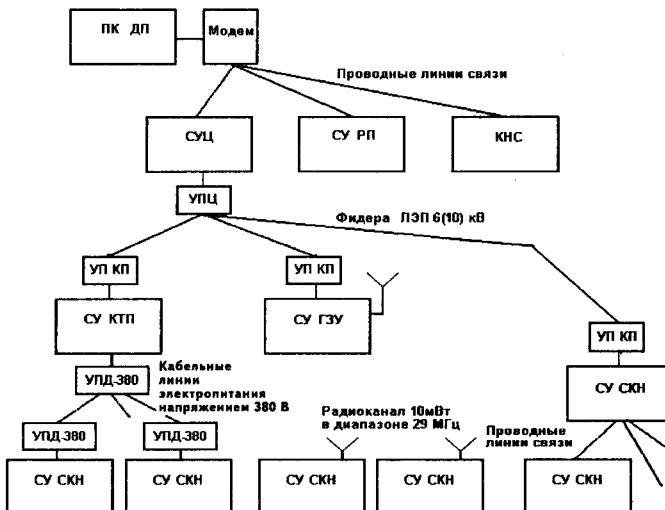


Рис.3. Структурная схема системы

наглядно иллюстрирует работу СКН как электромеханического комплекса, позволяет наблюдать переходные процессы в работе СКН. По ваттметрграмме определяются:

- длительность цикла качания головки балансира;
- минимальная, максимальная и средняя мощности за время цикла качания головки балансира;
- небаланс СКН.

На основе того, что для скважин с динамограммами параллелограммного типа, характерных для скважин глубиной около 1000 м, с числом качаний головки балансира до 10—12 качаний в минуту и при длине хода штока более 1,5 м, циклические ваттметрграммы электродвигателя привода насосной установки и динамограммы однозначно взаимосвязаны [5], можно сделать вывод, что оперативная диагностика работы подземного оборудования большого количества скважин АО "Татнефть" принципиально возможна с помощью ваттметрграммы.

В таких аварийных случаях, как обрыв штанг или обрыв ремней, ваттметрграммы имеют характерный вид, что дает возможность однозначно определять неисправности. Однако при других отклонениях в работе СКН, типа утечки в нагнетательном или выпускном клапанах, отка-

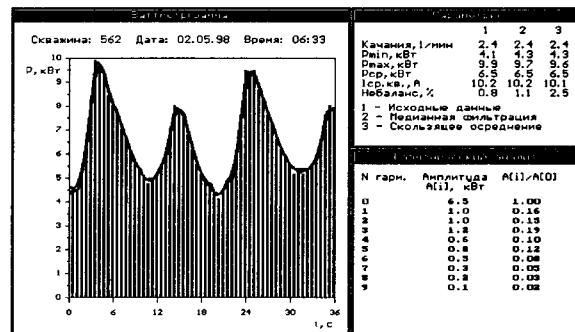


Рис. 4. Ваттметрграмма работы СКН

ки жидкости с газом и др., которые достаточно корректно выявляются с помощью динамограмм, непосредственная интерпретация ваттметрграмм с целью диагностики работы глубинного насоса затруднена. Для облегчения идентификации таких отклонений в работе СКН необходимо иметь образцы соответствующих им ваттметрграмм. Образцы теоретических ваттметрграмм, соответствующих различным отклонениям от нормы в работе подземного оборудования могут быть получены, как это показано в [6], путем выполнения соответствующих расчетов в среде "MathCad" по теоретическим динамограммам, приведенным в [3].

Рассмотренные работы в области автоматизации и внедрения энергосберегающих технологий в совокупности с введением многотарифной оплаты электроэнергии дадут экономический эффект за счет повышения оперативности контроля и управления режимами работы технологического оборудования и снижения затрат на оплату электроэнергии.

Список литературы

1. Альтшуллер М.И. Чаронов В.Я. и др. "Устройство защиты трехфазного электродвигателя от работы на двух фазах". Патент РФ № 2099842.
2. Чаронов В.Я., Музагитов М.М., Иванов А.Г., Горчаков В.В., Арзамасов В.Л., Михайлов В.В. Проблема электроагрева нефтекважин при очистке их от отложений парафина//Электротехника. 1995. №12. С.46—48.
3. Белов И.Г. Исследование работы глубинных насосов динамографом. М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы. 1960. С.428.
4. Чаронов В.Я., Егоров Е.Г., Генин В.С. Автоматизированный контроль работы станка — качалки нефти // Электротехника. 1998. №1, С.53—55.
5. Алиев Т.М., Тер-Хачатуров А.А. Автоматический контроль и диагностика скважинных штанговых насосных установок. М.: Недра, 1988.
6. Генин В.С., Ерохин Е.Ю., Чаронов В.Я. Диагностика штангового глубинного насоса с помощью ваттметрграммы//Труды академии электротехнических наук Чувашской республики. 2000. №1. С. 42—48.

Регулируемый электропривод с вентильным двигателем для погружных насосов нефтяных скважин

АЛЬШУЛЛЕР М.И., АРИСТОВ Б.В., АФАНАСЬЕВ А.А., БЕЛОВ Б.В., БЛОХИНЦЕВ А.А., ЕВСЕЕВ А. Н., ЗАЛЯТОВ М.М., РЫЖКОВА Е.Б., САЕВИЧ В.Л.

Рассматривается электропривод с магнитоэлектрическим вентильным двигателем. Анализируются конструкция и результаты электромагнитного расчета ВД методом сопряжения конформных отображений. На основании расчетов и эксперимента сделан вывод, что возможно изготовление беспазового ВД с естественной коммутацией, использование активных материалов которого выше, чем у частотно-регулируемого АД аналогичного назначения.

В настоящее время 75% нефти в России добывается погружными центробежными насосами. Повышение цен на электроэнергию, а порой и ее дефицит, ставит вопрос о необходимости ее оптимального использования на нефтепромыслах.

Известно, что единственным способом регулирования производительности насосов, в которых потребление мощности пропорционально третьей степени скорости, является изменение скорости с помощью регулируемого электропривода. Вопрос выбора наиболее целесообразной системы электропривода должен решаться исходя из особенностей условий эксплуатации, так как оптимальная нефтеотдача скважины достигается в том случае, когда постоянно поддерживается соответствие между притоком и откачкой жидкости.

Использование вентильного электродвигателя ВД с постоянными редкоземельными магнитами взамен АД позволяет применить более простой и надежный тиристорный преобразователь и отказаться от повышающего трансформатора преобразователя, так как преобразователь частоты этого типа может быть выполнен непосредственно на рабочее напряжение ВД. Кроме того, электропривод с ВД обладает хорошо известными преимуществами перед частотно-регулируемым электроприводом с АД [2].

Макетные образцы электропривода с ВД мощностью 4кВт с номинальной частотой вращения 3000 об/мин трех типов были изготовлены во ВНИИР (г. Чебоксары) совместно с Чув.ГУ (г. Чебоксары) и ВНИПТИЭМ (г. Владимир) на базе одного из модулей (их всего четыре) штат-

ногого АД ПЭД 16-117 (мощностью 16 кВт и габаритным размером 117 мм). Первый тип был выполнен путем модернизации только активной части ротора: пакет с короткозамкнутой обмоткой ротора был удален, а на его место установлено шихтованное ядро, к плоским наружным граням которого приклейны призматические магниты из сплава неодим-железо-бор с максимальной толщиной 4 мм. Пазы статорного сердечника закрыты с толщиной мостика 0,5 мм.

Опытные испытания макета выявили недостаточную совместимость этого типа ВД и преобразователя частоты — из-за больших индуктивностей обмотки якоря преобразователь может коммутировать ток, не превышающий 80% номинального значения.

Второй тип ВД был изготовлен путем модернизации как ротора, так и статора: толщина магнитов на роторе увеличена до 6 мм, статорный сердечник имел полузакрытые пазы с шириной щлицов 2 мм.

У третьего типа толщина магнитов увеличена до 8 мм, а статорный сердечник выполнен без пазов.

Опытные исследования последних двух типов показали увеличение использования активных материалов по сравнению с асинхронным двигателем соответственно в 1,3 и 1,5 раза.

Для изыскания возможностей повышения использования ВД и его адаптации к выбранному типу преобразователя частоты был выполнен расчет его магнитного поля (МП) в квазистационарном режиме методом сопряжения конформных отображений [3,4].

Целью настоящей статьи является обсуждение преимуществ применения регулируемого электропривода на базе специального вентильного двигателя, обсуждение результатов указанного расчета МП ВД, путей оптимизации его конструктивных параметров, анализ опытных данных, полученных в результате экспериментов с регулируемым электроприводом на базе вентильного двигателя.

Выбор варианта построения регулируемого электропривода центробежного погружного насоса

На начальном этапе исследовательских работ было рассмотрено два варианта построения регулируемого электропривода для погружного центробежного насоса. Первый вариант предусматривал построение транзисторного частотно-регулируемого асинхронного электропривода (рис.1).

Преобразователь частоты (ПЧ) в этом варианте состоит из трех основных частей: управляемого тиристорного или неуправляемого диодного выпрямителя (В), фильтра звена постоянного напряжения (Ф), инвертора напряжения (ИН). Так как транзисторные преобразователи на напряжение выше 1000 В довольно сложны в ис-

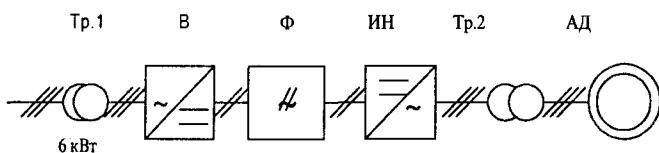


Рис.1. Функциональная схема регулируемого электропривода с АД

полнении и дороги, то в состав электропривода помимо понижающего трансформатора *Tr1* вводят и повышающий *Tr2*, который трансформирует выходное напряжение ПЧ в рабочее напряжение двигателя, линейное значение которого лежит в пределах от 530 до 2300 В.

Второй вариант предусматривал построение регулируемого тиристорного электропривода на базе вентильной машины с возбуждением от постоянных магнитов (рис.2).

В этом случае ПЧ включает в себя управляемый тиристорный выпрямитель (В), сглаживающий пульсации тока дроссель (СД), инвертор тока (ИТ). Такой преобразователь выполняется непосредственно на рабочее напряжение двигателя, т.е. отпадает надобность в повышающем трансформаторе *Tr2*.

Система с ВД имеет следующие преимущества:

1. Возбуждение двигателя проводится без затрат энергии от источника питания.

2. В результате проведенных испытаний установлено, что потребляемый ток в ВД на 20% меньше, чем в АД, потери в меди подводящего кабеля уменьшаются на 2,5 кВт (4,1 кВт в ВД против 6,6 кВт в АД).

3. Удельный врачающий момент на единицу массы у ВД примерно в 1,33 раза выше, чем у АД.

Эти преимущества позволяют поднять КПД ВД на несколько процентов. При этом из [7] известно, что повышение КПД погружного двигателя только на 1% дает экономию в среднем 35–55% его оптовой цены.

В ходе исследовательских работ были рассмотрены механические и электромагнитные усилия, возникающие в работающем двигателе, которые наиболее значимо влияют на продолжительность работы двигателя, а именно прогиб вала, радиальные нагрузки на подшипники и критическая скорость ротора. При рассмотрении не учитывалась масса ротора, так как двигатель расположен в рабочем положении вертикально, а также ра-

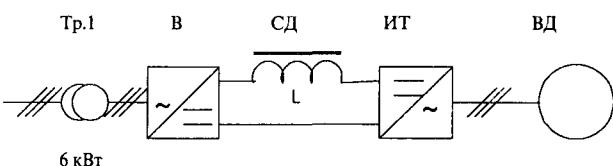


Рис.2. Функциональная схема регулируемого электропривода с ВД

диальная составляющая гидродинамической силы, так как образец ВД выполнен и испытан в "сухом" варианте. ВД спроектирован с максимальной унификацией с АД по конструктивным элементам. В итоге, в случае использования вентильного двигателя вместо асинхронного двигателя были получены следующие преимущества:

1. Уменьшилась радиальная сила одностороннего магнитного тяжения в 7 раз.
2. Уменьшился прогиб вала в 4 раза.
3. Уменьшилась радиальная сила, действующая на подшипник, в 4 раза.
4. Снизился потребляемый ток на 20%.
5. Снизились потери мощности в двигателе в 2,5 раза.

Таким образом, в свете всего вышеизложенного предпочтительнее применение регулируемого электропривода на базе вентильного двигателя.

Расчет магнитного поля ВД

Расчет МП производился применительно к четырем типам поперечной геометрии ВД. Первый тип соответствует статорному сердечнику серийного асинхронного двигателя ПЭД 16-117 с диаметром расточки $D = 57$ мм и закрытыми пазами. Второй тип относится к модифицированному варианту этого двигателя с $D = 60,1$ мм и полуузакрытыми пазами (ширина открытия паза $b_{\text{щ}} = 2$ мм). Третий тип соответствует максимальному раскрытию пазов статора. Расчетная область ВД четвертого типа с беспазовым статором показана на рис.3.

Топография намагничивания рассматривается двух видов: 1 — однородная, при которой векторы остаточной индукции B_r одинаковы (имеют одинаковые длину и направление, параллельное продольной оси ротора); 2 — радиальная, длины векторов B_r одинаковы, а направления — радиальные.

В результате расчетов установлено, что при использовании магнитов с относительно низким уровнем остаточной индукции ($B_r = 0,9$ Тл) электромагнитный момент при толщине магнитов 4 мм ниже номинального у АД (12,7 Н·м), а индуктивности обмотки якоря L_d и L_q относительно велики. Переход к магнитам с $B_r = 1,1$ Тл, но с сохранением их толщины 4 мм, так же ос-

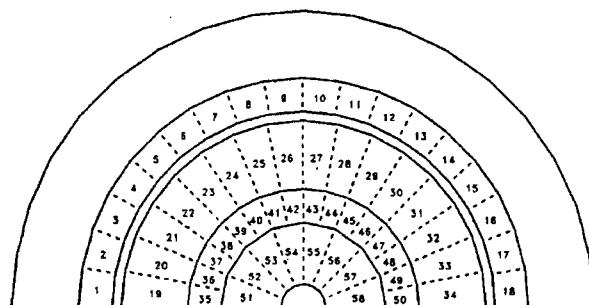


Рис.3. Расчетная область беспазового вентильного двигателя

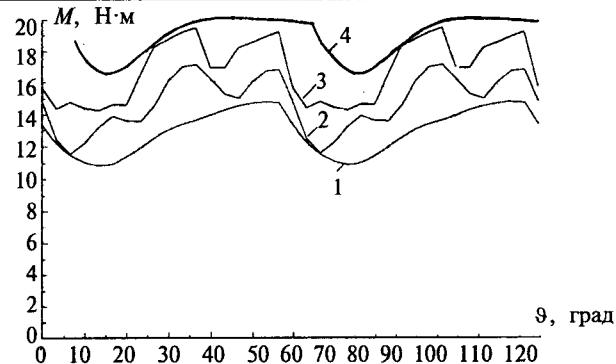


Рис.4. Пульсация электромагнитного момента у ВД с различными типами статорных сердечников и вариантов намагничивания магнитов при $B_r = 1,1$ Тл и $h_m = 6$ мм (1 — закрытые пазы, однородное намагничивание; 2 — закрытые пазы, кусочно-радиальное намагничивание; 3 — полуузакрытые пазы, кусочно-радиальное намагничивание; 4 — беспазовый статор, кусочно-радиальное намагничивание ($h_m = 12$ мм))

тавляет момент на уровне ниже номинального. Только при толщине магнитов 6 мм можно превзойти номинальный момент АД и почти в два раза понизить индуктивности обмотки якоря. Наибольшее превышение электромагнитного момента АД над номинальным уровнем может быть достигнуто при радиальном намагничивании: на 16% для первого типа статорного сердечника, на 33% — для второго и на 50% — для беспазового варианта.

На рис.4 приведены кривые пульсаций электромагнитного момента ВД для различных типов статорного сердечника и топографий намагничивания. Видим, что радиальная структура намагничивания вызывает некоторые специфические особенности (локальный провал момента на межкоммутационном интервале) у этих кривых, не зависящие от типа статорного сердечника. При однородном намагничивании, когда форма распределения магнитной индукции в воздушном зазоре близка к синусоиде, кривая пульсаций момента не отличается от канонической (класс-

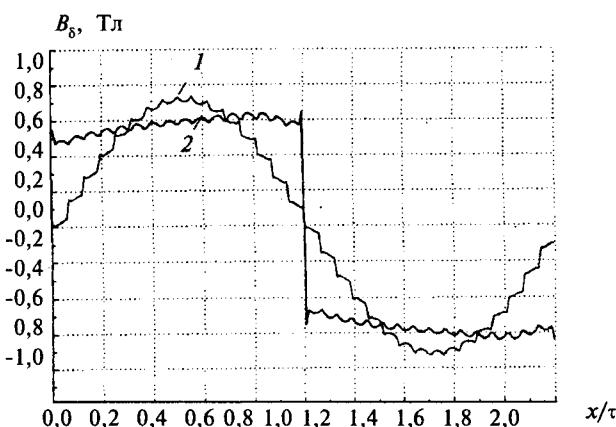


Рис.5. Распределение магнитной индукции на наружной поверхности магнитов у беспазового ВД (1 — однородное; 2 — радиальное намагничивание)

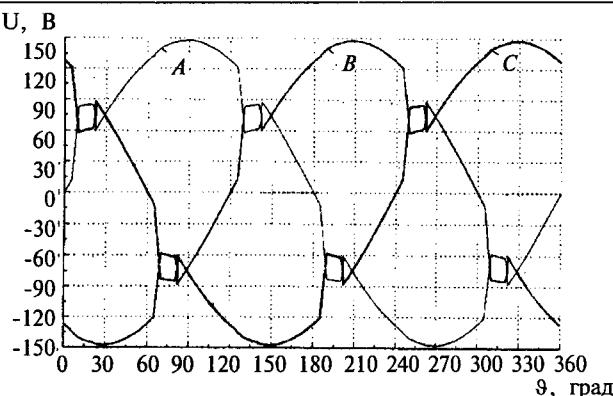


Рис.6. Фазные напряжения U_j ($j = A, B, C$) беспазового ВД с однородно намагниченными магнитами

сической). У нее провал момента наблюдается только на коммутационном интервале.

На рис.5 показано распределение магнитной индукции на поверхности магнитов ротора. Видно, что при радиальном намагничивании кривая индукции близка к прямоугольной, а при однородном намагничивании — к синусоиде.

На рис.6 изображены фазные напряжения беспазового ВД с однородным намагничиванием магнитов.

Регулируемый электропривод на базе вентильного двигателя

Макетный образец регулируемого электропривода на базе вентильного двигателя выполнен по каскадной схеме с явно выраженным звеном постоянного тока (рис.7).

В состав преобразователя частоты входят управляемый тиристорный выпрямитель и тиристор-

торный коммутатор, работающий в режиме инвертора тока.

Результаты расчетов и исследований беспазового вентильного двигателя сведены соответственно в табл.1—3. В табл.1 применены следующие обозначения: h — толщина магнитов; $\phi = \beta + \theta$ — угол опережения тока; δ_3 — угол запаса; γ — угол коммутации. В ходе расчетов предполагалось, что $B_r = 1,1$ Тл, $H_{CB} = 850$ кА/м и действующее значение номинального тока якоря составляет $I = 19,8$ А¹. Данные таблиц свидетельствуют, что с ростом тока двигателя заметно растет угол коммутации вентилей γ . Максимальное значение этого угла составило 13°. Для надежной коммутации вентилей инвертора необходимо увеличивать угол опережения b , что ведет к увеличению перегрузочной способности вентильного двигателя M_* , выраженной в относительных единицах.

С увеличением β в режиме с естественной коммутацией тока инвертора растет угол ϕ — фазовый сдвиг между током и напряжением двигателя:

$$\phi \approx \gamma/2 + \delta = \beta - \gamma/2,$$

что ведет к снижению $\cos\phi$ и КПД двигателя η .

На малых частотах вращения ВД, требующих применения искусственной коммутации, имеет место снижение энергетических показателей электропривода.

¹ Число активных проводников в пазу принималось равным 8, а два оставшихся проводника (один у дна паза, другой у магнитного мостика) соединялись накоротко при выходе из пазов, образуя пазовый демпфер. Пазовые демпферы позволяют на 15—20% снизить переходную индуктивность пазового рассеяния [6].

Таблица 1

Намагничивание	h , мм	ϕ , град	δ_3 , град	γ , град	M_{cp} , Н·м	$B_{\delta\max}$, Тл	$B_{a\max}$, Тл	L_d , мГн	L_q , мГн
Однородное	12	25	8,0	17	18,43	0,73	1,96	1,15	1,12
Радиальное	12	25	7,2	17,8	19,03	0,64	2,34	1,12	1,13

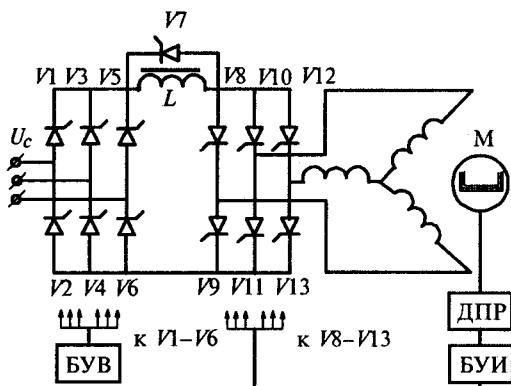


Рис.7. Структурная схема регулируемого электропривода на базе специального вентильного двигателя (БУВ — блок управления выпрямителем, БУИ — блок управления инвертором, ДПР — датчик положения ротора)

Таблица 2

Режим	$\beta=55^\circ, n=3000$ об/мин			$\beta=55^\circ, n=2000$ об/мин		
	$M_{*,\text{o.e.}}$	$1,00$	$1,20$	$0,88$	$1,00$	$1,20$
γ , град	10	11	12	10	11	11
η , %	93	93	93	89	86	86
$\cos\phi$	0,87	0,86	0,87	0,60	0,63	0,64

Таблица 3

Режим	$\beta=55^\circ, n=3000$ об/мин				$\beta=55^\circ, n=2000$ об/мин			
	$M_{*,\text{o.e.}}$	$1,00$	$1,10$	$1,33$	$0,88$	$1,00$	$1,10$	$1,33$
γ , град	10	11	12	13	10	11	11	12
η , %	88,3	90	88	90	80	80	82	82
$\cos\phi$	0,86	0,85	0,85	0,86	0,57	0,56	0,57	0,58

Выводы

1. При изготовлении магнитостатических ВД для погружных насосов на базе АД серии ПЭД с габаритным размером 117 мм, имеющих мощности от 16 до 90 кВт, необходимо использовать магниты из сплава неодим-железо-бор с толщиной не менее 6 мм и с радиальной топографией намагничивания.

2. Для повышения использования ВД и его лучшей адаптации к преобразователю частоты с естественной коммутацией целесообразно применение беспазового статорного сердечника.

Список литературы

1. Двигатели асинхронные погружные унифицированные серии ПЭД. М.: Информэлектро, 1988.

2. Синхронный двигатель с постоянными магнитами для электропривода металлообрабатывающих станков/ А.Д. Поздеев, А.А. Афанасьев, Э.Г. Королев и др. // Электротехника. 1983. № 10. С. 33—38.

3. Афанасьев А.А., Воробьев А.Н. Новый метод расчета плоскопараллельных магнитных полей// Электричество. 1993. № 12. С. 32—39.

4. Афанасьев А.А., Воробьев А.Н. Расчет магнитного поля вентильного двигателя с неоднородно намагниченным ротором// Электричество. 1994. № 9. С. 24—32.

5. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. М.: Энергия, 1980.

6. Рабинович И. Н., Шубов И.Г. Проектирование электрических машин постоянного тока. Л.: Энергия, 1967.

7. Счастливый Г. Г. и др. Погружные асинхронные двигатели. М.: Энергоиздат, 1983.

Устройства для предотвращения образования карбонатных отложений на поверхностях теплообменного оборудования

БОЧКАРЕВ В.Н., РАБОТАЕВ А.Ф., ГЕНИН В.С., НИКИТИН В.А., СТЕПАНОВ Г.Н.

Сообщается об устройствах серии USP, предназначенных для предотвращения образования карбонатных отложений на поверхностях теплообменного оборудования широкого профиля. Генератор устройства позволяет производить подстройку частоты импульсов в относительно широком диапазоне частот, что обеспечивает получение высокого КПД, имеет встроенную защиту от перегрузки. Излучатели изготавливаются из нового магнитострикционного материала "Дифераль".

Устройства серии USP предназначены для предотвращения образования карбонатных отложений на поверхностях теплообменного оборудования широкого профиля с температурой оболочки в месте установки преобразователей до 160°C, таких, как паровые и водогрейные котлы, бойлеры, конденсаторы, опреснители, сетевые водонагреватели и другое оборудование, применяемое в теплоэнергетике, нефтяной, судостроительной, пищевой промышленности, коммунальном хозяйстве и т.д.

Устройства USP состоят из генератора импульсов и излучателей, изготовленных из нового магнитострикционного материала "Дифераль" [1]. На рис.1 показаны генератор USP-1000 и излучатели устройства. Технические характеристики устройств USP представлены в табл.1.

Устройство USP реализует ультразвуковой способ предотвращения отложений на теплообменной поверхности оборудования [2].

Обычно накипь образуется на поверхностях трубопроводов, омыемых охлаждающей водой. Под воздействием ультразвуковых колебаний, возбуждаемых закрепленным на теплообменном оборудовании излучателем, в толще воды образуется множество кавитационных пузырьков. Вокруг них, как центров кристаллизации, непосредственно в воде начинают кристаллизоваться

соли жесткости, образуя мелкодисперсный шлам. Так как активное образование пузырьков значительно увеличивает площадь соприкосновения охлаждающей воды с "твердым телом" (пузырьками и трубопроводом), частицы трудно растворимых солей практически не доходят до стенок оборудования. Образовавшиеся кристаллы остаются во взвешенном состоянии и удаляются потоком жидкости или продувкой. Схематично это показано на рис.2.

Ультразвуковые колебания, кроме того, оказывают разрушающее воздействие на ранее образовавшиеся на стенках теплообменного оборудования отложения. Воздействуя на поверхность нагрева, ультразвуковые колебания создают механические усилия, под действием которых в карбонатных отложениях, а также между отложениями и металлом образуются микротрещины.

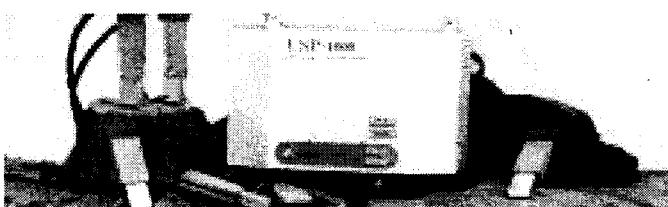


Рис.1. Генератор USP-1000 и излучатели

Технические характеристики устройств типа USP

Тип	USP-300	USP-500	USP-900	USP-1000
Напряжение питания, В		220		
Частота сети, Гц		50, 60		
Потребляемая мощность, кВ·А	0,25	0,35	0,45	0,7
Режим работы		продолжительный		
Количество преобразователей в комплекте	2	3	4	6
Частота следования пачек импульсов, Гц		1/6; 1/7; 1/8 частоты сети		
Собственная частота преобразователя, кГц		18±7,5%		
Габариты генератора, мм	470*, 270*, 310	520*, 280*, 360	580*, 310*, 406	
Габариты преобразователя, мм		350*, 80*, 40		
Масса устройства, кг	30	37	40	45
Масса генератора, кг	23	26	27	30
Масса преобразователя, кг		2,2		
Степень защиты генератора		IP41		
Степень защиты преобразователя		IP10		

* Для устройств, изготавливаемых на экспорт

"Взрывы" кавитационных пузырьков и интенсивное испарение воды, проникающей в эти микротрещины, вызывают разрушение накипи. Удаление шлама осуществляется периодическими продувками, а при остановке теплообменного оборудования — промывкой струей воды с давлением 0,2...0,3 МПа. Это позволяет исключить необходимость в трудоемкой и дорогостоящей очистке оборудования и в решении связанных с ней экологических проблем.

Действие ультразвука не ограничивается только предотвращением образования карбонатных отложений. Ультразвуковые колебания увеличивают теплопередачу греющей поверхности за счет микропотоков, образуемых колебаниями стенок труб и воды в них, и повышения скорости потока воды из-за снижения гидродинамического сопротивления труб с колеблющимися стенками. Под действием ультразвука улучшается отвод пузырьков пара от поверхности нагрева и происходит дегазация воды вследствие лучшего перемешивания жидкости на границе металла — жидкость, что также способствует увеличению теплопередачи.

Явление снижения гидродинамического сопротивления особенно эффективно проявляется в узких микронных щелях естественных дефектов внутренних поверхностей труб, где в обычных

условиях (без ультразвука) сохраняется кислород воздуха. При воздействии ультразвуковых колебаний он легко удаляется из этих щелей. В результате этого исключается один из механизмов кислородной коррозии металла труб.

Кроме того, длительное воздействие ультразвуковых импульсов на внутреннюю поверхность труб с дефектами в виде микротрещин вызывает деформацию микротрещин. Происходит наклеп краев трещин, в результате трещины оказываются закрытыми и не подверженными проникновению в них кислорода при сливе воды из оборудования. Внутренняя поверхность труб становится гладкой и полная площадь ее уменьшается, что приводит и к уменьшению вероятности коррозии. Получаемый таким образом эффект коррозионной защиты в какой-то степени заменяет пассивирование внутренней поверхности труб.

Применение ультразвукового способа предотвращения отложений исключает загрязнение окружающей среды стоками водоподготовительных установок, а стоимость обработки 1 м³ воды этим способом ориентировочно в 200—250 раз ниже стоимости химической обработки.

Устройства USP отличаются от аналогичных противонакипных устройств относительно большей мощностью генератора и возможностью, в

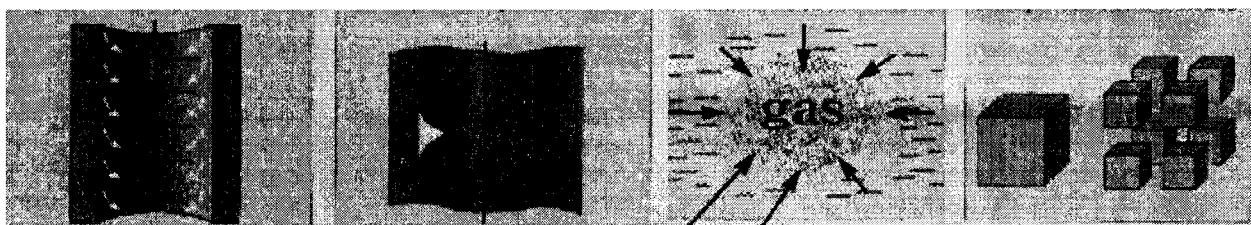


Рис. 2. Схема процесса предотвращения отложений

связи с этим, использования с одним генератором до 6 излучателей. Это позволяет озвучивать одним комплектом USP относительно мощное теплообменное оборудование. Генератор устройства позволяет производить подстройку частоты импульсов в относительно широком диапазоне частот, обеспечивая получение высокого КПД работы излучателей, и имеет встроенную защиту от перегрузки [3], его блок логики обеспечивает автоматическое повторное включение устройства после срабатывания защиты.

Перед монтажом устройства рекомендуется, чтобы теплообменное оборудование было очищено от накипи, в противном случае из-за интенсивного отделения от поверхностей нагрева карбонатных отложений трубы могут оказаться забитыми шламом и мелкими частицами карбонатных отложений, что может привести к аварии теплообменного оборудования.

Место установки генератора, размещение и количество преобразователей и программа озвучивания устройства в каждом конкретном случае должна определяться с учетом специфики и параметров теплообменного оборудования: конфигурации, диаметра труб, схемы циркуляции теплоносителя, качества питательной воды. Поверхности теплообменного оборудования в зоне приварки преобразователей являются излучателями ультразвука и размещение преобразователей производится в местах, наиболее приближенных к теплонапряженным точкам, где происходит самое интенсивное образование отложений. Для получения максимального КПД производится настройка режима работы устройства USP в со-

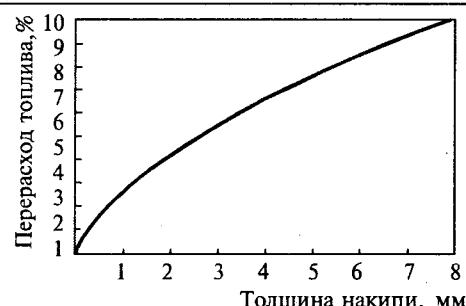


Рис. 3. Зависимость перерасхода топлива от толщины слоя карбонатных отложений для теплообменного оборудования низкого давления

ответствии с особенностями теплообменного оборудования.

Выполнение сварного соединения — наиболее ответственная операция при монтаже ультразвуковых устройств. От его качества зависит эффективность передачи механической энергии преобразователя к поверхности теплообменного оборудования и эффективность работы устройства, а также безопасность эксплуатации теплообменного оборудования. Раковины и шлаковые включения в сварном соединении недопустимы. Приварка волновода к наружной поверхности барабана не является источником внутренних повреждений металла стенки барабана, так как шов приварки волновода не является герметизирующим или несущим нагрузку от внутреннего давления. Сварка должна выполняться дипломированным сварщиком.

Работа устройства фиксируется по характер-

Таблица 2

Тип оборудования	Расход газа, м ³ /ч (при номинальной нагрузке)	Цена газа за 1 м ³ на 30.12.96	Перерасход газа, %, в зависимости от толщины накипи		Стоимость перерасходованного газа за отопительный сезон (210 дней), руб., при толщине накипи	
			1 мм	5 мм	1 мм	5 мм
КВГ - 4,65	516,0	357	14,5	40,2	26 089 560	72 331 056
КВГ-6,5	830,0	357	23,24	64,74	41 815 267	116 485 387
КВГМ - 4	515,0	357	14,42	40,17	259 456 18	72 277 078
КВГМ-6,5	830,0	357	23,24	64,74	41 815 267	116 485 387
КВГМ < 10	1290	357	36,12	100,62	64 989 994	181 043 554
КВГМ - 20	2580	357	72,24	201,24	129 979 987	362 087 107
КВГМ - 30	3960	357	110,88	308,88	199 504 166	555 761 606
КВГМ - 50	6260	357	175,28	488,28	315 377 798	878 552 438
КВГМ -100	12520	357	350,56	976,56	630 755 597	1 757 104 877
ПТВМ - ЗОМ	5200	357	145,6	405,6	261 975 168	729 787 968
ПТВМ - 50	6720	357	188,16	524,16	338 552 525	943 110 605
ПТВМ-100	14100	357	394,8	1099,8	710 355 744	1 978 848 144
ПТВМ - 180	25380	357	710,64	1979,64	1 278 640 339	3 561 926 659
ТВГМ -30	5200	357	145,6	405,6	261 975 168	729 787 968
ДКВР-2,5-13	203	357	5,68	15,83	102 199 10	28 482 602
ДКВР-4-13	342	357	9,58	26,7	172 371 02	480 407 75
ДКВР-6,5-13	546	357	15,29	42,59	275 109 91	76 631 335
ДКВР-10-13	843	357	23,6	65,75	42 463 008	118 302 660
ДКВР-20-13	2021	357	56,59	157,6	101 821 255	283 566 528
ДЕ-4-14ГМ	304	357	8,5	23,7	15 293 880	42 642 936
ДЕ-6,5-14-ГМ	490	357	13,72	38,22	246 861 22	68 768 482
ДЕ-10-14 ГМ	743	357	20,8	57,95	37 425 024	104 268 276
ДЕ-16-14 ГМ	1194	357	33,43	93,13	60 149 930	167 566 946
ДЕ-25-14 ГМ	1840	357	51,52	143,52	92 698 906	258 232 666

ному звучанию преобразователей и свечению световых индикаторов на передней панели генератора.

Применение устройства обеспечивает:

- повышение коэффициента теплоотдачи и КПД теплообменного оборудования;
- увеличение срока службы оборудования;
- экономию топлива и химических реагентов для водоподготовки;
- увеличение периода между чистками оборудования и сокращение времени чистки;
- улучшение экологической ситуации.

Зависимость перерасхода топлива от толщины слоя карбонатных отложений для теплообменного оборудования низкого давления (по данным ВТИ им. Дзержинского) представлена на рис.3.

Результаты расчётов перерасхода топлива в зависимости от толщины карбонатных отложений на поверхностях теплообменного оборудования и связанных с этим финансовых потерь в 1996 г., сделанные фирмой "Теплотехсервис" и согласованные с Управлением газового надзора РАО "Газпром" и Московским газотехническим центром, представлены в табл.2.

Благодаря малому потреблению электроэнергии, сравнительно невысокой стоимости и простоте обслуживания, высокой эффективности ультразвуковые установки получают все более широкое применение. Капитальные вложения, связанные с приобретением, монтажом и наладкой противонакипных устройств USP, окупаются в течение нескольких месяцев их работы. Обслуживание установок может производиться штатным персоналом котельной после знакомства с правилами эксплуатации.

Устройства противонакипные серии USP в течение ряда лет эксплуатируются на предприятиях в различных регионах России в том числе в Чувашии, Татарстане, Марий Эл, в особенности в спиртовой промышленности на дефлегматорах, холодильниках, котлах: ДКВР, ДЕ, НР-18, электрокотлах ЭПЗ-100. Эксплуатация устройств серии USP в течение нескольких лет показала их высокую эффективность и надёжность.

Устройства USP успешно внедряются фирмами «GreenSonic Co.Ltd» и «JINBO Co» (Республика Корея) в странах Юго-Восточной Азии на предприятиях известных фирм: «Samsung», «Siemens», LG, «Daewoo» и др. При этом подчеркивается улучшение экологической ситуации и снижение затрат на утилизацию химических реагентов, используемых для очистки теплообменного оборудования. Наши партнеры из Юго-Восточной Азии создали поддержанную правительством программу энергосбережения, включающую в себя мероприятия по внедрению устройств по предотвращению отложений на поверхностях теплообменного оборудования, что способствует внедрению устройств USP.

Список литературы

1. Пат. 2108407 С1, RU. Способ получения магнитострикционного материала на основе железа — "Дифераль"/В.А.Морков, А.Ф.Работаев, П.С.Шмаков, В.Н.Бочкарев //Открытия. Изобретения. 1998. № 10.
2. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1979.
3. Пат. 2141877 С1, RU. Способ ультразвуковой очистки теплоагрегатов от отложений и устройство для его осуществления//Г.Н.Степанов, В.М.Степанова, В.А.Никитин, В.И.Васинеж, В.Н.Бочкарев//Открытия. Изобретения. 1997. № 33.

Бездатчиковый вентильный электропривод вентилятора отопителя автомобиля

НЕСТЕРИН В.А., ДОНСКОЙ Н.В., СЕРКОВ О.А., БАБАК А.Г.

Рассмотрен бездатчиковый вентильный электродвигатель постоянного тока с системой управления, предназначенный для вентилятора отопителя автомобиля. В таких двигателях обмотки переключаются с помощью специальной электрической схемы. Приведены экспериментальные характеристики электропривода в сравнении с аналогичным коллекторным электродвигателем.

В классической схеме вентильного электропривода [1] на валу двигателя устанавливается датчик положения ротора (ДПР), вырабатывающий систему электрических сигналов для управления ключами электронного преобразователя. Наличие ДПР существенно усложняет конструкцию вентильного двигателя (ВД), снижает его надежность, требует введения отдельного многожиль-

ного кабеля или специального разъема на корпусе ВД, а также предусматривает дополнительную наладочную операцию по регулировке и установке оптимального углового положения ДПР относительно ротора ВД.

В электроприводах ответственного применения с высокими динамическими и регулировочными свойствами применение ДПР вполне оправдано.

Однако существует ряд областей применения ВД, в которых вполне можно обойтись без ДПР, используя специальную схему управления электроприводом. Наиболее типичным случаем такого применения бездатчикового ВД (БВД) является использование его для привода механизмов с вентиляторной нагрузкой, например, для вращения вентилятора отопителя автомобиля.

В ВД малой и средней мощности обычно на роторе устанавливаются постоянные магниты (ферритовые или редкоземельные). В этом случае синхронные индуктивные сопротивления по продольной и поперечной осям можно считать одинаковыми, т.е. $x_d = x_q = x_0$, а ЭДС, наводимые в обмотках статора ВД при вращении ротора, практически синусоидальными. Тогда при формировании в обмотках статора синусоидальных токов уравнение электрического равновесия ВД в векторной форме будет иметь вид:

$$\dot{U} = -\dot{E}_0 + iR + j\dot{I}x_\sigma = -\dot{E}_1 + iR, \quad (1)$$

где \dot{U} — вектор фазных напряжений статора ВД; $\dot{E}_0 = -j\omega\Phi_0 \approx -j\dot{I}x_0$ — вектор фазных ЭДС, наводимых в обмотках статора потоком ротора Φ_0 ; w — число витков одной фазы статора; i — вектор фазных токов статора, модуль которого равен амплитудному значению синусоидального тока в фазе; R — активное сопротивление фазы статора; x_σ — индуктивное сопротивление рассеяния фазы статора; \dot{E}_1 — вектор фазных ЭДС статора, наводимых полным потокосцеплением статора, включая и поток рассеяния.

Уравнению (1) соответствует векторная диаграмма в ортогональных осях d и q , неподвижных относительно ротора, изображенная на рис.1.

Все векторы на этой диаграмме в установившемся режиме неподвижны. При этом с целью обеспечения минимума тока статора при заданном моменте необходимо поддерживать угол θ между вектором тока i и вектором потока Φ_0 рав-

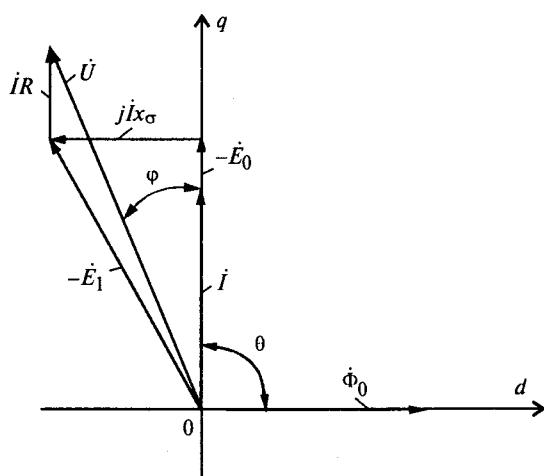


Рис.1. Векторная диаграмма бесконтактного вентильного двигателя

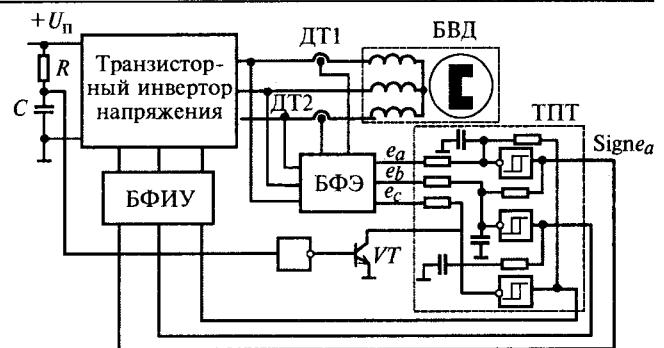


Рис.2. Функциональная схема управления БВЭ

ным 90° . В электроприводах с ДПР такая ориентация тока осуществляется по сигналам ДПР.

В схемах управления бездатчиковым вентильным электроприводом (БВЭ) необходимую ориентацию вектора тока можно осуществить по мгновенным значениям фазных или линейных ЭДС обмоток статора ВД.

Из уравнения (1) видно, что если измерить мгновенные значения фазных напряжений u и токов i фаз статора, то можно найти мгновенные значения фазных ЭДС e_1 , а затем, вычитая производную тока, умноженную на индуктивность рассеяния $L_s = x_s/w$, найти и мгновенные значения ЭДС e_0 . Т.е.

$$e_1 = u - iR; \quad e_0 = e_1 - L_s \frac{di}{dt}. \quad (2)$$

Функциональная схема такого управления БВЭ показана на рис.2.

Бездатчиковый вентильный двигатель БВД подключен к выходам транзисторного инвертора напряжения, выполненного по трехфазной мостовой схеме. Ключи инвертора управляются сигналами с выхода блока формирования импульсов управления БФИУ, который в свою очередь управляет трехпозиционным триггером ТПТ, входы которого через резисторы подключены к выходам блока формирования ЭДС БФЭ. Выходные сигналы этого блока пропорциональны фазным ЭДС и удовлетворяют уравнениям (2). Сигналы, пропорциональные фазным токам, снимаются с выходов датчиков тока ДТ1 и ДТ2, а пропорциональные линейным напряжениям — с выходных зажимов инвертора напряжения.

Благодаря наличию емкостей на входах трех логических элементов, составляющих ТПТ, и наличию в нем внутренних перекрестных обратных связей, ТПТ может работать в режиме трехфазного автогенератора с небольшой частотой переключения, определяющей минимальную частоту вращения БВД.

Процесс пуска БВД происходит следующим образом. После включения напряжения питания U_n , пока напряжение на конденсаторе C меньше порога срабатывания логического элемента,

включенного перед транзистором VT , последний открыт и блокирует работу TPT .

При этом в две фазы BVD подается постоянный ток, который ориентирует ротор двигателя в определенном положении. Когда напряжение на конденсаторе C станет выше порога логического элемента, транзистор VT закроется и разрешит работу TPT с низкой частотой переключения. В соответствии с этой частотой будет происходить переключение тока в обмотках BVD и последний начинает работать в шаговом режиме. Практически при первом же шаге ЭДС BVD достигает такого уровня, при котором сигналы на выходе BFE превышают сигналы внутренних обратных связей TPT и его логические элементы начнут переключаться в функции знака выходных сигналов BFE . TPT превращается в имитатор DPR . Дальше процесс разгона и работа BVD происходит как и в электроприводе с DPR .

Электромагнитный момент BVD при таком способе управления, как известно, определяется векторным произведением вектора тока на вектор потока ротора в соответствии с выражением:

$$M = \frac{3}{2} w(\dot{I} \times \Phi_0) = \frac{3}{2} wI_m\Phi_{0m} \sin \theta.$$

Так как $\theta = \pi/2$, то, учитывая, что действующее значение синусоидальных токов и потока в $\sqrt{2}$ раз меньше амплитудных значений, получим

$$M = 3wI\Phi_0 = 3wI \frac{E_0}{\omega}. \quad (3)$$

При этом ток статора I определяется нагрузкой на валу двигателя, а ЭДС E_0 — (в основном) напряжением, подводимым к двигателю.

В соответствии с рассмотренным принципом управления BVD авторами был разработан и изготовлен макет комплектного электропривода, предназначенного взамен коллекторного для тепловентилятора отопителя, применяемого в различных типах отечественных автомобилей. BVD был изготовлен в габаритах базового коллекторного электродвигателя с возбуждением от ферритовых постоянных магнитов. На рис.3 приведен чертеж, соответствующий как BVD , так и базовому коллекторному электродвигателю. В системе отопителя автомобиля на оба конца электродвигателя насаживаются пластмассовые крыльчатки центробежных вентиляторов.

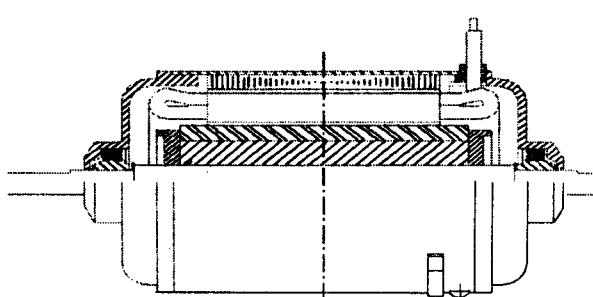


Рис.3. Устройство BVD типа DVФ-77

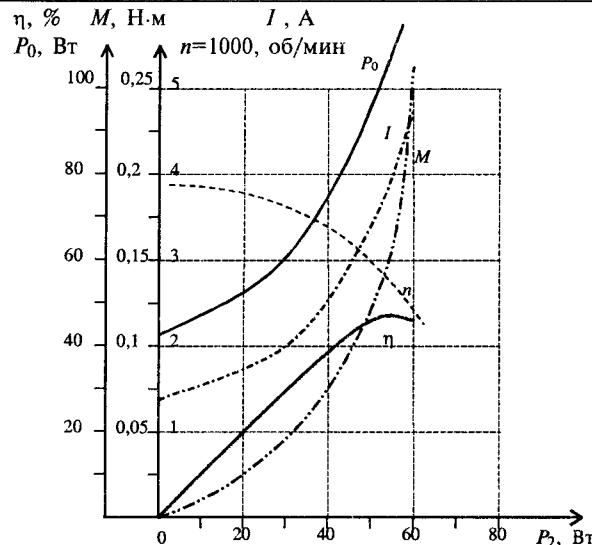


Рис.4. Рабочие характеристики BVD

С учетом современных тенденций повышения напряжения питания автомобилей, а также в целях использования BVD в системе отопления автобусов вентильный электродвигатель и преобразователь были рассчитаны на напряжение 24 В. В BVD , как и в коллекторном, использовались подшипники скольжения. Отсутствие коллектора в BVD позволило свободное место использовать для удлинения ротора по сравнению с пакетом статора на 20%, что способствует осевой концентрации рабочего магнитного потока, созданного ферритовыми магнитами ротора. Кроме того, в роторе применены специальные цельно-прессованные кольцевые магниты с криволинейной текстурой [2], которые также позволили увеличить индукцию в воздушном зазоре приблизительно на 10%.

Выносной электронный блок (коммутатор и система управления) BVD был собран на отечественной элементной базе и имеет габариты: 180×120×80 мм.

На рис.4 построены экспериментальные рабочие характеристики BVD типа DVФ-77, представляющие собой зависимости: частоты вращения (n), момента на валу электродвигателя (M), фазного тока I_1 , мощности P_0 , потребляемой электроприводом, и КПД η в функции полезной мощности P_2 на валу электродвигателя.

Для сравнения в таблице приведены данные BVD типа DVФ-77 и базового коллекторного, полученные экспериментально в двух режимах для одинаковых условий нагрузки, когда на обоих концах вала были насажаны одинаковые центробежные вентиляторы.

Выводы

1. Учитывая, что условия отвода тепла у BVD значительно лучше, чем у коллекторного (источник нагрева — обмотка у BVD находится на ста-

Таблица 1

Наименование параметра	ДВФ-77		Коллекторный двигатель 51.3730	
Частота вращения n , мин ⁻¹	3000	1520	3000	1510
Напряжение в звене постоянного тока U_0 , В	27	27	12	6(12)
Потребляемый ток I_0 , А	3,8	1,4	12	5,7
Фазное напряжение U_1 , В	12,8	9,2	—	—
Фазный ток I_1 , А	4,6	2,3	—	—
Мощность потребляемая двигателем P_1 , Вт	62,3	21,2	144	34,2
Мощность отдаваемая источником $P_0=U_0I_0$, Вт	102,6	37,8	144	68,4
Мощность на валу P_2 , Вт	44,61	6,4	44,61	6,4
Момент на валу двигателя M , Н·м	0,142	0,040	0,142	0,040
КПД двигателя, %	71,6	30,2	31,0	18,7
КПД преобразователя (регулятора), %	60,7	56,1	—	50
Суммарный КПД, %	43,5	16,9	31,0	9,4

сравнению с классическим $ВД$, имеющим датчик положения ротора, задержан в работе и имеет явные преимущества при использовании его для вентиляторной нагрузки с малым диапазоном регулирования частоты вращения (до 1:10).

торе, а у коллекторного — на роторе), бесконтактный $ВД$ в тех же габаритах может развить полезную мощность в 1,8 раза больше, чем коллекторный, что подтверждается результатами тепловых испытаний.

2. КПД $БВД$ в 1,4 раза выше, чем у коллекторного двигателя на максимальной скорости и в 1,8 раза — на пониженной скорости.

3. $БВД$ имеет более простую конструкцию по

Список литературы

1. Аракелян А.К., Афанасьев А.А. Вентильные электрические машины и регулируемый электропривод. М.: Энергоатомиздат, 1997.

2. Гридинев А.И. Монолитные индукторы электрических машин на основе высокозергетических магнитотвердых материалов//Материалы международного симпозиума "Исследование проблем создания магнитных систем" г. Сузdalь. 1991. С.15—28.

Принцип информационного совершенства релейной защиты

ЛЯМЕЦ Ю.Я., ЕФИМОВ Е.Б., НУДЕЛЬМАН Г.С., ЗАКОНЫШЕК Я.

Затрагиваются вопросы информационной теории релейной защиты. Ставится задача обеспечить наиболее полное использование любого объема текущей информации, содержащейся в произвольном числе наблюдаемых величин, как самой по себе, так и в соединении с априорной информацией о защищаемом объекте. Приложения относятся к защите линий электропередачи, фазовой селекции, локации, распознаванию зоны повреждения.

Релейная защита отвечает за распознавание аварийных ситуаций в электрических системах. Решение выносится на основании анализа имеющейся информации, текущей и априорной. Микропроцессорная техника практически сняла вопрос о сложности алгоритмов распознавания аварий, но обострила интерес к информационным свойствам релейной защиты. Будем понимать под распознавающей способностью алгоритмов и устройств защиты полноту использования ими информации, задаваемой либо в фиксированном, либо варьируемом объеме. Физическим пределом информационного совершенства является распознаваемость аварийной ситуации как одного из множества состояний защищаемого объекта. Обратим внимание на различие задач, связанных с понятиями "распознавание" и "распознаваемость". То и другое нуждается в количественной оценке и мера у них одна. Но если пер-

вое привязано к алгоритмам, устройствам и достаточно для их сравнения друг с другом, то второе привязано к аварийным ситуациям и напрямую зависит от объема задействованной информации. Сравнение распознавающей способности защит с распознаваемостью контролируемой ими ситуации показывает, насколько они информационно совершенны и стоит ли искать пути их совершенствования по данному показателю.

В настоящей статье подводятся итоги исследований, отдельные результаты которых сообщались ранее [1—4], однако общий взгляд на проблему распознаваемости аварийных ситуаций и их распознавания средствами релейной защиты излагается здесь впервые.

Часть используемых далее понятий и обозначений представлены в табл. 1 и 2.

Пусть α — обозначение отслеживаемой ситуации, на которую призвана реагировать релейная

Таблица 1

К определению распознаваемости аварийной ситуации и способов её распознавания релейной защитой

Ситуации	α	β	α	β	α	β
Пространства	Имитационные		Наблюдающее		Алгоритмическое	
	C_α	C_β	D		A	
Области	G_α	G_β	H_α	H_β	S_α	S_β
Векторы	x_α	x_β	V_α	V_β	W_α	W_β
Функции	$x = \psi(W)$		$V = \lambda(x)$	$W = \phi(V) = \chi(x)$		

Таблица 2

Преобразование областей и векторов в задаче распознаваемости и распознавания

№	Области		Условное обозначение	Предназначение
	заданная	определенная		
1	$x \in G$	$V \in H$	$H = \Lambda[G]$	определение распознаваемости
2	$V \in H$	$W \in S$	$S = \Phi[H]$	синтез алгоритмов защиты
3	$x \in G$	$W \in S$	$S = \chi[G]$ $\chi = \Phi\Lambda$	построение уставочных характеристик
4	$W \in S$	$x \in G$	$G = \chi[S]$	определение объектной характеристики для данных ИМО и уставочных характеристик

защита, β — обозначение альтернативных ситуаций, на которые защите реагировать не следует. Отслеживаемая ситуация распознаваема лишь в той мере, в какой она отличима от альтернативных ситуаций. Введем критерий различия ситуации α от ситуаций β .

Обозначим x_α и x_β векторы варьируемых параметров имитационной модели защищаемого объекта (ИМО) в противопоставляемых ситуациях. Векторы задаются в имитационных пространствах C_α и C_β , распознаваемость исследуется в n -мерном пространстве D , где наблюдается вектор V , а распознавание осуществляется в p -мерном алгоритмическом пространстве A , где определён вектор W .

Элементы V_i , $i = \overline{1, n}$ вектора V — наблюдаемые токи и напряжения, в данном случае комплексные, составляющие текущую информацию о состоянии ИМО. Возможно включение в его состав и таких параметров, которые относятся к априорной информации об объекте.

Преобразование наблюдаемого вектора в алгоритмический

$$W = \Phi(V); W_j = \phi(V), j = \overline{1, p}, \quad (1)$$

где W_j — элементы вектора W , задаётся или подлежит определению.

Состояния ИМО характеризуются областями G_α , G_β в своих имитационных пространствах (рис.1). Функции $V_\alpha(x_\alpha) = \lambda_\alpha(x_\alpha)$ и $V_\beta(x_\beta) = \lambda_\beta(x_\beta)$ пре-

образует G_α , G_β в области $H_\alpha = \Lambda_\alpha[G_\alpha]$ и $H_\beta = \Lambda_\beta[G_\beta]$ пространства D , а функция (1) — в области $S_\alpha = \Phi[H_\alpha]$ и $S_\beta = \Phi[H_\beta]$ пространства A .

Центральную роль в ряду вводимых понятий играет представление о распознаваемости повреждения как физическом свойстве защищаемого объекта и противопоставление отслеживаемой аварийной ситуации конечному множеству альтернативных ситуаций, нормальных и аварийных.

Функция распознаваемости. Отличить конкретную ситуацию x_α от множества альтернативных ситуаций $x_\beta \in G_\beta$ способно минимальное отклонение точки $V_\alpha(x_\alpha)$ от области H_β (рис.1)

$$\Delta(x_\alpha) = \min_{x_\beta \in G_\beta; \theta} F_n[\text{mod}(V_{i\alpha}(x_\alpha) - V_{i\beta}(x_\beta)e^{\theta}],$$

где θ — произвольный угол. Функционал F_n реализует критерий близости, например, наименьших квадратов. В зависимости от положения точки $V_\alpha(x_\alpha)$ относительно области H_β при данном объёме информации будем различать ситуации нормально распознаваемые (рис.1,а), трудно распознаваемые (рис.1,б) и вовсе нераспознаваемые (рис.1,в), что обобщает определения, данные в [4].

Распознаваемость в точке и области. В качестве критерия распознаваемости ситуации, заданной точкой, примем условие:

$$\Delta(x_\alpha) > \varepsilon, \quad (3)$$

где ε — положительная константа, выделяющая объектную область G_{aext} предельной распознаваемости и ее отображение H_{aext} в наблюдаемом пространстве (рис.2,а). Особый интерес представляют проекции области G_{aext} на плоскость аварийных параметров x_f , R_f — координаты места повреждения и переходного сопротивления. Нормальные параметры имитационной модели, например угол электропередачи δ , при этом фиксируются (рис.2,б).

Верхние границы проекций служат объектными характеристиками экстремальной распознаваемости.

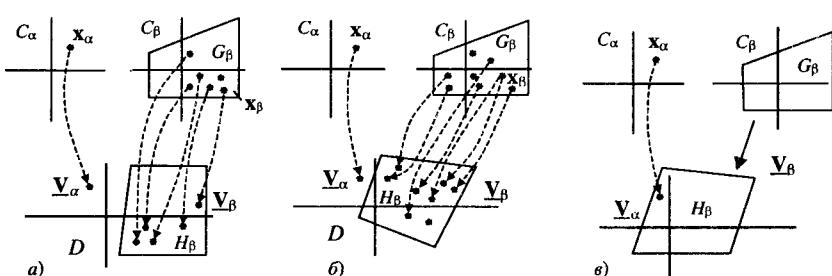


Рис.1. Распознавание аварийной ситуации в точке:
а — распознаваемая; б — трудно распознаваемая; в — нераспознаваемая

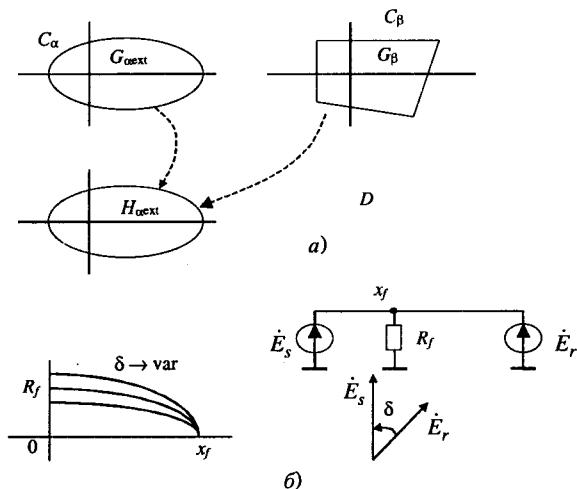


Рис.2. Характеристики распознаваемости ситуации в точке;

а — области предельной распознаваемости; б — объектные характеристики на плоскости аварийных параметров

По аналогии с функцией (2), предназначеннной для исследования распознаваемости в точке, введём функцию распознаваемости в области G :

$$\Delta(G_\alpha) = \min_{x_\alpha \in G_\alpha; x_\beta \in G_\beta; \theta} F_n[\text{mod}(V_{\alpha\theta}(x_\alpha) - V_{\beta\theta}(x_\beta)e^{j\theta}] \quad (4)$$

и градацию распознаваемости ситуации в G_α , отличаемой от альтернативной ситуации в G_β (рис.3). Заметим, что распознаваемость в области обеспечивается распознаваемостью во всех её точках.

Алгоритмы распознавания аварийных ситуаций будут различаться собственными объектными областями $G_{\alpha\text{rec}}$ и соответствующими объектными характеристиками. Очевидно, что область распознавания окажется большей или меньшей частью области предельной распознаваемости: $G_{\alpha\text{rec}} \in G_{\alpha\text{ext}}$.

Обобщение традиционных для релейной защиты алгоритмов распознавания коротких замыканий приводит к концепции уставочных характеристик [2,4], задаваемых на комплексных D или A вещественных плоскостях. Комплексной плоскости принадлежит одна из комплексных координат пространства или вещественной плоско-

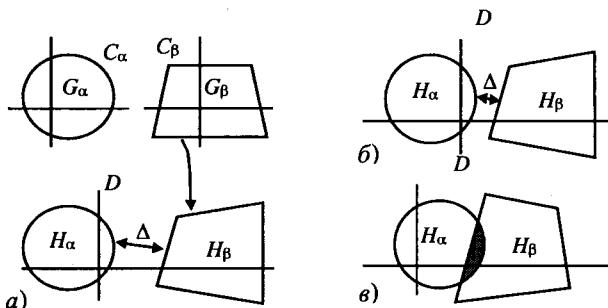


Рис.3. Распознаваемость ситуации в области:

а — распознаваемая; б — труднораспознаваемая;
в — нераспознаваемая

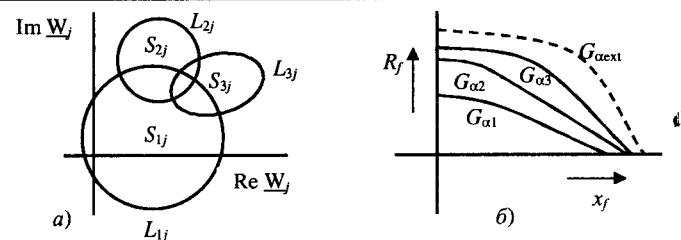


Рис.4. Характеристики:

а — уставочные на j -й плоскости; б — объектные

сти принадлежат две вещественные координаты. Вещественная плоскость, таким образом, присутствует в данном пространстве непосредственно, а комплексная плоскость, предназначенная для построения уставочной характеристики, — в виде комплексной оси.

Уставочные характеристики. Зададим в имитационном пространстве на p комплексных и (или) вещественных плоскостях несколько групп уставочных характеристик L_{kj} , $j = \overline{1, p}$. Характеристики ограничивают плоскую область S_{kj} (рис.4,а). Предполагается, что защита срабатывает, если каждая проекция $W_{\alpha j}$ точки W_α попадает в область S_{kj} .

Функции (1) совместно с уставочными характеристиками моделируют действие релейной защиты. Испытания защиты на имеющейся имитационной модели объекта обнаружат объектные характеристики (табл.2, рис.4,б)

$$G_{\alpha k} = \Psi_k[S_k] = \Psi_k[S_{k1}, S_{k2}, \dots, S_{kp}], \quad (5)$$

соответствующие принятым функциям ϕ и линиям L . Очевидно, что объектные области $G_{\alpha k}$ имитационного пространства располагаются внутри области экстремальной распознаваемости $G_{\alpha\text{ext}}$.

Степень распознавания аварийной ситуации, обеспечиваемую группой уставочных характеристик L_k , оценим размером объектной области:

$$g_k(G_{\alpha k}) = \iint_{G_{\alpha k}} \dots \int \xi(x_{\alpha 1}, x_{\alpha 2}, \dots, x_{\alpha m}) dx_{\alpha 1} dx_{\alpha 2} \dots dx_{\alpha m}, \quad (6)$$

где ξ — весовая функция при m -мерном векторе x_α .

Синтез уставочных характеристик. Очевидное на первый взгляд решение принять за уставоч-

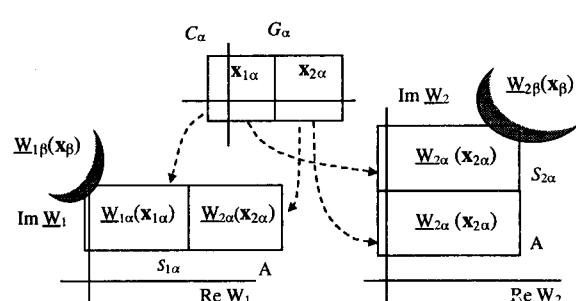


Рис.5. Проекции области S_α на комплексные оси W_1 и W_2

ные характеристики границы проекций распознаваемой области S_α на комплексные оси и вещественные плоскости было бы неверным. Это положение иллюстрирует рис.5: ситуация распознается в отдельно взятых точках $x_{1\alpha}$ и $x_{2\alpha}$, но не распознается в объединяющей их области, если рассматривать ее как укрупненную точку, стерев различия между $x_{1\alpha}$ и $x_{2\alpha}$. Между тем, области, охватываемые уставочными характеристиками, выступают именно в таком качестве — как проекции крупных точек, поскольку условием срабатывания является одновременное попадание результатов измерения внутрь всех уставочных характеристик.

В наиболее общем случае целью синтеза является не только построение линий L_{kj} , но и определение функции ϕ преобразования наблюдаемых величин в алгоритмические. Выбирая в качестве целевой функции размер объектной области (6), приходим к следующей постановке задачи оптимального синтеза преобразователей входных величин и уставочных характеристик, составляющих в совокупности ядро релейной защиты

$$g_k(G_{ak}) \rightarrow \max; \quad (7)$$

$$G_{ak} = \Psi_\alpha[S_{k1}, S_{k2}, \dots, S_{kp}]; \quad (8)$$

$$\min_{x_\beta, W_{kj}} F_p[\text{mod}(W_{kj} - \phi_{kj}(V_\beta(x_\beta))e^{j\theta})] > \varepsilon; \quad (9)$$

$$x_\beta \in G_\beta; \quad W_{kj} \in S_{kj}; \quad j = \overline{1, p}. \quad (10)$$

Итогом решения вариационной задачи (7)–(10) являются области со своими граничными линиями — уставочными характеристиками L_{kj} , а также функции ϕ_{kj} и объектные области G_{ak} . В упрощенном варианте задачи преобразование Φ входных величин V в алгоритмические W задано в виде единственной или нескольких конкурирующих модификаций. Тогда целью синтеза остается определение линий L_{kj} и областей G_{ak} .

Распознавание альтернативных ситуаций. В трехфазных сетях равновероятно несколько аварийных ситуаций. Допустим, ситуации α и β составляют альтернативу друг другу $x_{\alpha\text{alt}} \in G_{\alpha\text{alt}}$, $x_{\beta\text{alt}} \in G_{\beta\text{alt}}$. Задача заключается в синтезе двух наборов уставочных характеристик. Первый набор включает в себя группы характеристик $L_{\alpha kj}$, второй — $L_{\beta kj}$. Организуем распознавание как единый процесс, а синтез уставочных характеристик — как общую рекурсивную процедуру, каждый шаг которой состоит из α - и β -этапов. На α -этапе шага $k=1$ с помощью процедуры (7)–(10) выполняется синтез характеристик $L_{\alpha 1j}$ — граничных линий области $S_{\alpha 1j}$. Их отображение в имитационном пространстве $G_{\alpha 1}$ определяется по правилу:

если $W_j \in S_{\alpha kj}$, $j = \overline{1, p}$, то $x_\alpha \in G_{\alpha k}$, (11)
интерпретирующему операцию (8). Подобласть $G_{\alpha 1}$

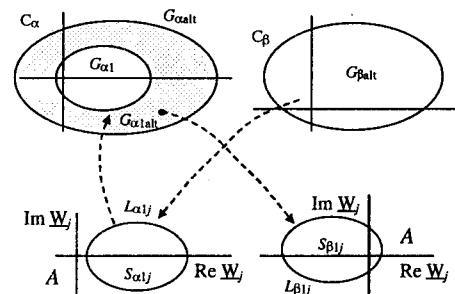


Рис.6. Распознавание альтернативных ситуаций α и β

исключается из заданной области $G_{\alpha\text{alt}}$ (рис.6). Остается усеченная область альтернативных ситуаций α , изображенная на рис.6 в форме кольца $G_{\alpha\text{alt}}$. Синтез характеристик $L_{\beta 1j}$ на β -этапе первого шага производиться уже с новыми данными

$$g_k(G_{\beta k}) \rightarrow \max; \quad (12)$$

$$G_{\beta k} = \Psi_\beta[S_{\beta k1}, S_{\beta k2}, \dots, S_{\beta kp}]; \quad (13)$$

$$\min_{x_\alpha, W_{kj}} F_p[\text{mod}(W_{kj} - \phi_{kj}(V_\alpha(x_\alpha))) > \varepsilon; \quad (14)$$

$$x_\alpha \in G_{\alpha k \text{ alt}}; \quad W_{kj} \in S_{\beta kj}. \quad (15)$$

Сокращение размера области альтернативных ситуаций α способствует расширению уставочных областей для распознавания ситуации β и, как следствие, расширяет объектную область $G_{\beta k}$. На втором шаге область $G_{\beta 1}$ исключается из $G_{\beta\text{alt}}$, что положительно скажется на размере уставочной области $S_{\alpha 2j}$, проекции которой $S_{\alpha 2j}$ определит процедура (7)–(10) при $x_{\beta\text{alt}} \in G_{\beta\text{alt}}$ и $k=2$.

Оценки распознающей способности. В оценке нуждается распознающая способность релейной защиты по отношению к ситуации α и степень отстройки от влияния альтернативной ситуации β . Обе ситуации возникают на объекте, заданном своей имитационной моделью, предназначеннной как для анализа алгоритмов, так и для испытаний конкретных защит.

Чувствительность к ситуации α . Предположим, что для разных защит на имеющейся ИМО экспериментально сняты объектные области $G_{\alpha\text{ext}}$, представленные характеристиками на плоскости

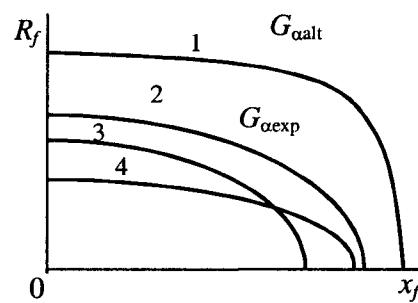


Рис.7. Объектные характеристики:

1 — предельная; 2, 3, 4 — экспериментальные, снятые для разных защит

аварийных параметров (рис.7). Сравнивая объектные характеристики между собой, а также с характеристикой предельной распознаваемости ситуации α , можно прийти к заключению о степени информационного совершенства отдельных устройств. Определяя размер объектной области выражением (6), введем коэффициент, оценивающий полноту использования информации,

$$\eta = g_{\alpha \text{ exp}} / g_{\alpha \text{ ext}}, \quad (16)$$

где $g_{\alpha \text{ exp}}$ и $g_{\alpha \text{ ext}}$ — размеры областей $G_{\alpha \text{ exp}}$ и $G_{\alpha \text{ ext}}$.

Отстройка от альтернативной ситуации. Предположим, что при испытаниях в ситуации β ни одна из сравниваемых защит не допустила ложной работы. Не вникая в детали, можно было бы заключить, что защиты выдержали испытания одинаково успешно. Но это не будет означать их равной отстройки от альтернативной ситуации. Оценкой отстройки может служить удаленность точек $\underline{W}_\beta(x_\beta)$ от уставочной области S_α

$$\Delta(x_\beta) = \min_{\underline{W}_{\alpha j} \in S_\alpha; x_\beta \in G_\beta} F_p[\text{mod}(\underline{W}_{\alpha j} - \underline{W}_{\beta j}(x_\beta))]. \quad (17)$$

Вектор $x_{\beta \text{ ext}}$, при котором операция (17) определит глобальный минимум Δ_{\min} , принадлежит наиболее неблагоприятному для данной защиты альтернативному режиму. Именно от него она отстроена хуже всего.

Распознаваемость процесса. Функции (2), (4), (9), (14), (17) вводятся в предположении, что информация доставляется основными гармониками установившихся слагающих входных величин, как это зачастую и происходит в релейной защите. Для защит, реагирующих на мгновенные значения величин, требуется обобщение функций и критериев распознавания аварийной ситуации.

Процессы $x_\alpha(t)$ и $x_\beta(t)$, протекающие в имитационных пространствах C_α и C_β , преобразуются в наблюдаемые величины $v_\alpha(t)$, $v_\beta(t)$ и алгоритмические $w_\alpha(t)$, $w_\beta(t)$ пространств D и A . Вектор расхождения наблюдаемых процессов

$$\delta(t, x_\alpha, x_\beta, \theta_\alpha, \theta_\beta) = v_\alpha(t, x_\alpha, \theta_\alpha) - v_\beta(t, x_\beta, \theta_\beta) \quad (18)$$

является функцией времени и параметров ИМО, включая начальные фазы θ_α и θ_β одного из ис-

точников. Введем интегральную функцию распознавания, накапливающую расхождение процессов, начиная от момента их возникновения (или рассмотрения) $t=0$,

$$\Delta(x_\alpha, t) = \min_{x_\beta, \theta_\alpha, \theta_\beta} \int_0^t \text{mod} \delta(\tau, x_\alpha, x_\beta, \theta_\alpha, \theta_\beta) d\tau. \quad (19)$$

Критерий распознаваемости ситуации α в точке x_α

$$\Delta(x_\alpha, t) > \varepsilon(t), \quad (20)$$

где $\varepsilon(t)$ — заданная возрастающая функция.

Определения (18)–(20) сводят распознавание процессов к тем же процедурам, что и распознавание статических состояний.

Выводы

1. Принцип информационного совершенства утверждает, что устройство или алгоритм тем совершеннее, чем полнее использует всю доступную информацию для распознавания аварийной ситуации, а распознаваемость последней есть предел совершенства, иллюстрируемый экстремальной объектной характеристикой.

2. Заданным имитационным моделям защищаемого объекта отвечают оптимальные преобразователи входных величин с группами уставочных характеристик и объектной характеристикой для каждой группы.

Список литературы

1. Liamets Y.Y., Ilijin V.A., Podshivalin N.V. Adaptive training relays//Proceedings of the 9th International Power System Conference. Vol.2. St.-Petersburg. Juli 1994. P. 729—739.
2. Ляметс Ю.Я., Нудельман Г.С., Павлов А.О. Эволюция дистанционной релейной защиты// Электричество. 1999. №3. С. 8—15.
3. Efremov V.A., Liamets Y.Y., Podshivalin N.V., Ilijin V.A., Nudelman V.A. Program set for the analysis of disturbances and fault location in transmission lines DISAN/ LOCATOR//CIGRE SC 34-205. Florence. Italy. October 1999. P. 1-7.
4. Liamets Y.Y., Efimov E.B., Efremov V.A., Ilijin V.A., Pavlov A.O., Podshivalin N.V., Nudelman G.S. Relay protection with extreme fault identification//Proceeding of the 12th International Conference on Power System Protection. Bled. Slovenia. September 2000. P.1—12.

Способы построения систем автоматического управления электроприводами насосов, работающих на длинные трубопроводы

АРАКЕЛЯН А.К., ШЕПЕЛИН А.В.

Рассматриваются методы построения систем управления регулируемых электроприводов насосов и компрессоров по транспортировке жидкостей и газов по длинным трубопроводам с учетом их топологических особенностей и параметров. Даются рекомендации по конструированию и расчету параметров регуляторов в зависимости от технологических цепей конкретного объекта.

Необходимость теоретических исследований и внедрения новых разработок в области систем автоматического управления (САУ) регулируемых электроприводов (РЭП) турбомеханизмов (ТМ), работающих на длинные трубопроводы (ДТ), вызвана ростом числа таких РЭП в результате использования энергосберегающих технологий, а также необходимостью автоматизации работы насосных станций и распределительных систем трубопроводов. Между тем, применение РЭП турбомеханизмов на ряде объектов требует специального подхода по причине возникновения гидравлических ударов и колебаний давления в трубопроводе при регулировании частоты вращения турбомеханизма или изменении эксплуатационных параметров систем трубопроводов [1–6].

Возникновение колебаний в системе РЭП-ТМ-ДТ обусловлено тем, что длинные трубопроводы являются объектами с распределенными параметрами. Изменение давления в любой точке последних вызывает волну давления, распространяющуюся по трубопроводу со скоростью, определяемой скоростью звука в среде трубопровода, жесткостью материала трубы, ее толщиной и др. [1]. Колебания давления возникают также при наличии в системе трубопроводов замкнутых контуров или объектов, отражающих волну давления. Таковым может оказаться прикрытая задвижка или закрытый обратный клапан, регулятор давления или открытый конец трубы. При такой схеме трубопровода САУ РЭП, стабилизируя давление в конкретной точке трубопровода, способствует возникновению и протеканию колебательного процесса по всей длине трубопровода [3].

Самым простым способом достижения плавности и снижения колебательности переходных процессов в системе РЭП-ТМ-ДТ является корректировка параметров последних путем самонастройки регуляторов САУ РЭП турбомеханизмов, работающих в трубопроводной сети. Оптимизация параметров регуляторов САУ позволяет обес-

печить исключение колебаний в трубопроводе при относительно высоком быстродействии системы управления. Наиболее перспективным направлением решения проблемы устранения гидравлических ударов и колебаний давления в САУ РЭП-ТМ-ДТ является создание новых, отличных от традиционных по своей структуре, самонастраивающихся регуляторов, имеющих высокое быстродействие и не зависящих в работе от пространственных параметров трубопровода, его схемы и возможного ее изменения [2–5].

Для исследования динамических режимов длинного трубопровода введем ряд упрощений [3–5]. Трубопровод представлен в виде линейной трубы с задвижкой на конце. Волна распространяется из одного конца трубопровода в другой за время τ и отражается от задвижки с коэффициентом отражения k_0 . Гидравлические потери учитываются линеаризованным коэффициентом a . При этом рассматриваются два случая возникновения колебаний: пуск насоса на закрытую задвижку и останов насоса, работающего на столб жидкости. Такое представление задачи отражает типичные случаи возникновения колебаний давления по длине трубопровода.

Неустановившееся движение реальной жидкости с дозвуковой скоростью в длинном трубопроводе определяется системой уравнений [6]:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial H}{\partial x} &= \frac{\rho}{s} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} + 2aQ \right); \\ -\frac{\partial H}{\partial x} &= \frac{\rho c^2}{x} \frac{\partial Q}{\partial x}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где x — текущая координата трубопровода протяженностью l ($0 \leq x \leq l$), м; $Q(x,t)$ — расход жидкости через поперечное сечение трубы, $\text{м}^3/\text{s}$; s — площадь поперечного сечения трубопровода, м^2 ; ρ — плотность среды, $\text{кг}/\text{м}^3$; c — скорость звука в среде, $\text{м}/\text{с}$; H — напор в трубопроводе, Па.

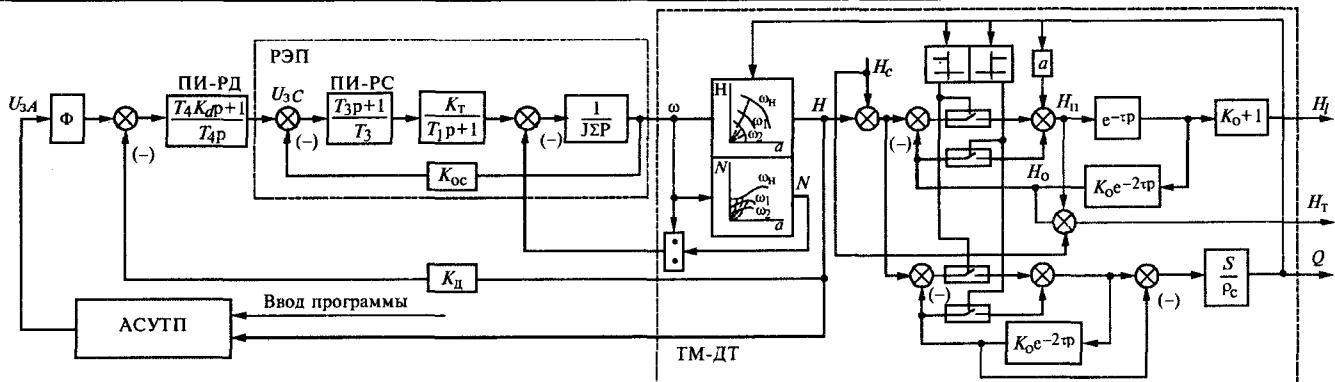


Рис.1. Структурная схема системы "электропривод — турбомеханизм — длинный трубопровод":

РЭП — регулируемый электропривод (тиристорный); ТМ-ДТ — турбомеханизм — длинный трубопровод; ПИ-РД — регулятор давления

Передаточные функции напора в конце трубопровода и подачи в начале трубопровода от напора в его начале исходя из (1) имеют вид [3]:

$$W_H(p) = \frac{H_{x=l}(p)}{H_{x=0}(p)} = \frac{(1 + k_0)e^{-\tau p}}{1 + k_0 e^{-2\tau p}}, \quad (2)$$

$$W_Q(p) = \frac{Q_{x=0}(p)}{H_{x=0}(p)} = \frac{s}{\rho c} \frac{1 - k_0 e^{-2\tau p}}{1 + k_0 e^{-2\tau p}}, \quad (3)$$

где $k_0 = \frac{k s/\rho c - 1}{k s/\rho c + 1}$ — коэффициент отражения

волны от конца трубопровода; k — коэффициент, учитывающий степень закрытия задвижки в конце трубопровода; $H_{x=l}$, $Q_{x=l}$ — напор и подача в конце трубопровода, $H_{x=0} = k Q_{x=0}$; $\tau = l/c$ — время распространения волны напора в один конец трубопровода.

Уравнения (2), (3) представляют собой модель трубопровода, которую можно реализовать с помощью элементов запаздывания, как показано на рис.1. На основании модели можно судить [3] о параметрах колебаний в различных системах трубопровода, влиянии параметров трубопровода (длины, диаметра, толщины стенок и жесткости материала трубопровода и плотности жидкости внутри него) на временные характеристики и величину колебаний.

В результате линеаризации напорной характеристики турбомеханизма с учетом передаточных функций трубопровода можно записать линеаризованные передаточные функции системы ТМ-ДТ (напора H и подачи Q в начале трубопровода) от частоты вращения турбомеханизма $\omega_{\text{дв}}$ [4]:

$$W_{Hn}(p) = \frac{H(p)}{\omega_{\text{дв}}(p)} = k_n \frac{1 + k_0 e^{-2\tau p}}{1 + \lambda k_0 e^{-2\tau p}}; \quad (4)$$

$$W_{Qn}(p) = \frac{Q(p)}{\omega_{\text{дв}}(p)} = k_n \frac{s}{\rho c} \frac{1 - k_0 e^{-2\tau p}}{1 + \lambda k_0 e^{-2\tau p}}, \quad (5)$$

где k_n — коэффициент линеаризации кривой напора насоса от скорости; $\lambda = 1 - 2k_n s/\rho c$ — коэффициент степени колебательности системы, зависящий от жесткости характеристики насоса ($\lambda \approx 0,6$); k_n — коэффициент жесткости характеристики насоса в окрестностях рабочей точки.

На основании передаточных функций (4), (5) можно синтезировать систему РЭП-ТМ-ДТ частотными методами [4]. В результате синтеза установлено, что постоянная времени регулятора давления возрастает прямо пропорционально длине трубопровода (рис.2).

Во многих практических случаях САУ напором в трубопроводе служит для поддержания задаваемого напора в трубопроводе и отработки возмущающих воздействий, приходящих со стороны трубопровода в различных режимах его работы. Для синтеза таких САУ вместо частотных методов, обеспечивающих требуемое качество переходных процессов при единичном ступенчатом воздействии, целесообразно применять метод оптимизации регуляторов САУ по критерию максимального гашения колебаний в системе от

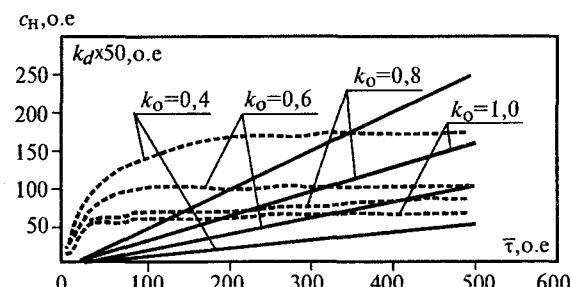


Рис.2. Зависимость параметра настройки постоянной времени регулятора давления (—) $c_n = T_4/T_3$ (где T_4 , T_3 — постоянные времена регуляторов давления и скорости) и коэффициента усиления регулятора давления k_d (---) от относительного времени распространения волны по длине трубопровода $\bar{\tau} = \tau/T_1$ (где T_1 — постоянная времени контура тока РЭП) при различных значениях коэффициента отражения волны от конца трубопровода k_0

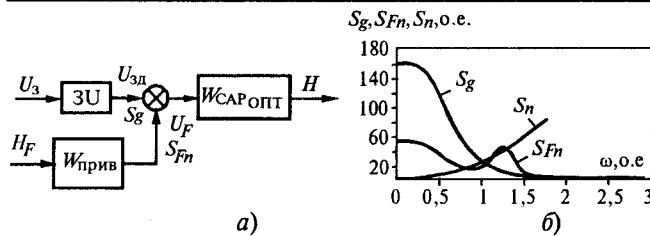


Рис.3. Применение метода оптимальной фильтрации для синтеза САУ РЭП:

a — упрощенная функциональная схема САР ЭП НА-Т при изменении нагрузки в конце трубопровода; *b* — спектральные плотности сигналов на входе САУ (S_g — сигнала задания, S_{Fn} — сигнала возмущения, S_n — кривая, аппроксимирующая резонансный всплеск кривой S_{Fn})

возмущающих воздействий при максимальном быстродействии системы [5]. Приводя возмущения в трубопроводе со стороны потребителя на вход системы (рис.3,*a*), САУ РЭП можно представить в виде оптимального фильтра, который не пропускает на выход системы эти возмущения H_F , имеющие спектральную плотность после приведения на вход САУ S_{Fn} , и пропускает сигнал задания давления U_{3D} с задатчика интенсивности, имеющий спектральную плотность S_g (рис.3,*b*).

Передаточная функция приведения помехи на вход САР следующая [5]:

$$W_{\text{прив}}(p) = k_d(1 - \lambda) \frac{e^{-\tau p}}{1 + k_0 e^{-2\tau p}}. \quad (6)$$

Спектральная плотность помехи на входе САР определяется как [5]:

$$S_{Fn} = S_{HF} |W_{\text{прив}}(j\omega)|^2 \quad (7)$$

где

$$S_{HF} = S_{0n}/(1 + F_{0n}\omega^4), \quad (8)$$

$S_{0n} = \pi/2 \Delta H_F^2$; $F_{0n} = \Delta T_F^4/16$; ΔH_F — изменение напора в конце трубопровода за время.

Спектральная плотность сигнала задания S_g может быть определена аналогично (8) [5].

Кривая спектральной плотности возмущений, приходящих со стороны трубопровода, после приведения на вход САУ S_{Fn} имеет резонансный всплеск на частоте колебаний (рис.3,*b*), которые необходимо погасить [5]. Аппроксимировав резонансный всплеск кривой S_n , приходим к задаче построения оптимального фильтра Винера для гашения этих колебаний на фоне сигнала задания давления. (Если в системе сигнал задания не изменяется, кривая S_g строится из условия необходимого быстродействия системы). Оптимизация параметров регуляторов САУ в данном случае производится по критерию минимума среднеквадратичной ошибки давления САУ (разности задаваемого и действительного давлений).

В результате расчетов можно получить математическое выражение оптимального фильтра

при аппроксимации резонансного всплеска спектральной плотности возмущений кривой второго порядка (рис.3,*b*) и провести расчет параметров регуляторов САУ РЭП, обеспечивающих представление системы в виде этого оптимального фильтра со следующей передаточной функцией [5]:

$$W_{\text{CAP,опт}}(p) = \frac{(1 + a_0 p)}{(1 + c_1 p + b_1 p^2 + a_1 p^3)}. \quad (9)$$

Пренебрегая статизмом характеристики насоса, передаточная функция САР с учетом (рис.1) имеет вид:

$$W_{\text{опт}}(p) = \frac{(1 + B_{01} p)}{(1 + (A_{01} + B_{01})p + A_{02} p^2 + A_{03} p^3 + A_{04} p^4)}, \quad (10)$$

откуда с учетом (9) вычисляются постоянные времени настройки регуляторов САР [5]:

$$\begin{aligned} T_2 &= a_1/b_1; \quad T_3 = T_2 b_1^2 / ((c_1 - c_0) a_1); \\ T_4 &= T_3 (c_1 - a_0)^2 / b_1; \quad k = a_0/(c_1 - a_0). \end{aligned}$$

Переходные процессы в САР, настроенной по вышеприведенной методике, показаны на рис.4.

САР, настроенная на основе фильтра, по принципу действия аналогична САР с увеличенной постоянной времени регулятора давления, т.е. отсутствие колебаний при воздействиях на систему достигается за счет затягивания времени переходных процессов. Отличие заключается в том, что в САР, построенной на основе фильтра, помимо постоянной времени регулятора давления подбирается еще и постоянная времени регулятора скорости РЭП, что делает оптимальным соотношение между постоянными времени САР.

Рассмотренные настройки применимы для систем с известными неизменными параметрами объекта управления. Для удовлетворительной работы систем с неопределенными или изменяющимися параметрами следует увеличить время нарастания сигнала задания на входе САР до максимально возможного, либо подобрать параметры регуляторов САР с максимальными постоянными временем. Следует также отметить, что указанные системы регулирования не могут стаби-

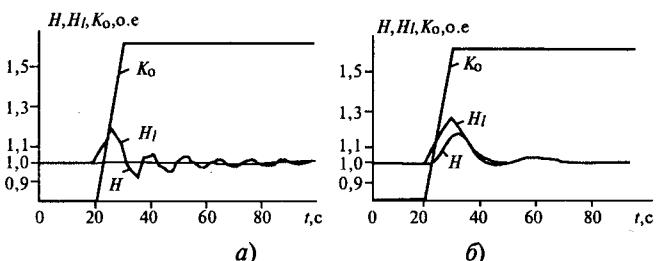


Рис.4. Кривые переходных процессов в системе РЭП-ТМ-ДТ при изменении подачи жидкости в нагрузке — в САР:

a — построенных по принципу быстродействующей настройки; *b* — в системах с настройкой в виде фильтра

лизировать напор в трубопроводе в том случае, если возмущения приходят со стороны трубопровода (изменение положения задвижек, изменение напора других насосов), так как быстродействующие САР возбуждают прямую волну обратного знака, а системы с большими постоянными временем отрабатывают возмущение слишком медленно, что приводит к закрытию обратного клапана и отражению приходящей волны с прямым знаком. Подобных недостатков, как будет показано ниже, лишена САР, построенная на основе принципов финитного управления.

Задача финитного (конечного) управления формулируется следующим образом [2]: требуется найти такое управляющее воздействие в начале трубопровода, чтобы перевести трубопровод из одного стационарного состояния в другое за конечное время T и чтобы при этом напор в любой точке трубопровода не превысил заданного (номинального) уровня.

На основе дифференциальных уравнений, описывающих движение реальной жидкости по трубам и используя теорию финитного управления [2], можно получить финитное управление давлением для идеального трубопровода с закрытой задвижкой на конце при переводе его из состояния покоя в состояние установившегося давления H_0 [3]:

$$u_{3,3} = \begin{cases} H_0 t/4\tau, & (0 < t < 4\tau); \\ H_0, & (t > 4\tau), \end{cases}$$

а также для трубопровода со свободным концом при переводе его из состояния покоя в состояние установившейся подачи Q_0 :

$$u_{3,0}(t) = \begin{cases} \rho c/s Q_0 t/4\tau, & (0 < t < 2\tau); \\ \rho c/s Q_0 (1 - t/4\tau), & (2\tau < t < 4\tau); \\ 0, & (t > 4\tau). \end{cases}$$

В общем случае коэффициент отражения волны от конца трубопровода находится в пределах $-1 \leq k_0 \leq 1$, т.е. часть волны отражается с положительным знаком, а часть — с отрицательным. Поэтому финитное управление таким трубопроводом может быть представлено суммой финитных управлений для трубопровода с открытым и закрытым концами [3]. С учетом потерь в трубопроводе получены кривые финитного управления давлением в начале трубопровода при пуске насоса (рис.5, а), а также при останове насоса, работающего на столб жидкости (рис.5, б).

Физическая интерпретация финитного управления следующая [4]: любое возмущение в трубопроводе порождает равновеликие волны, распространяющиеся в разные стороны трубопровода. Для устранения прямой волны возмущения необходимо приложить в начале трубопровода воздействие, равное половине исходного возмущения и противоположное ему по знаку, а затем таким же образом погасить обратную волну возмущения, которая отразилась от противопо-

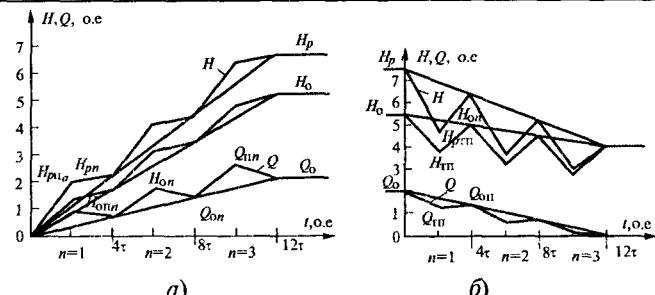


Рис.5. Ступенчатое изменение задания напора H и подачи жидкости Q при финитном управлении:
а — для пуска насоса; б — для останова насоса

ложного конца трубопровода.

В результате анализа кривых финитного управления установлены общие принципы финитного управления гидравлической системой с распределенными параметрами. Перевод системы из одного стационарного состояния в другое происходит за время 4τ . Следовательно, скорость изменения задания давления должна быть такой, чтобы полное изменение давления произошло за время, кратное 4τ . Изменение прямой волны напора (волны, создаваемой турбомеханизмом) должно производиться только при неизменной обратной волне (волне, пришедшей со стороны трубопровода).

С точки зрения физики принцип финитного управления можно сформулировать так: для перевода трубопровода из одного стационарного состояния в другое необходимо изменять прямую волну напора на его входе в течении 2τ до такого значения, чтобы пришедшая через следующие 2τ обратная волна в сумме с прямой дали бы требуемое значение напора в трубопроводе; изменение обратной волны свидетельствует о том, что трубопровод выведен из заданного режима. Поэтому необходимо поддерживать постоянной прямую волну до тех пор, пока переходные процессы не установятся, а затем сформировать управляющее воздействие, кратное по времени 4τ .

Работающая в соответствии с принципами финитного управления САУ РЭП-ТМ-ДТ обеспечивает отсутствие колебаний давления по длине трубопровода при любых (в том числе изменяющихся во времени) его схемах и параметрах. Такая система содержит специальный задатчик интенсивности, формирующий на входе регулятора давления сигнал в соответствии с принципами финитного управления, узел формирования обратных связей, обеспечивающий вычисление обратных связей по прямой и обратной волнам H_n и H_0 [4], а также оптимальный фильтр Винера, фильтрующий сигнал с датчика давления [5].

Результаты моделирования системы РЭП-ТМ-ДТ для останова насоса, работающего на столб жидкости (рис.6) показывают, что САУ, построенная по принципу финитного управления, позволяет избежать значительных бросков напора.

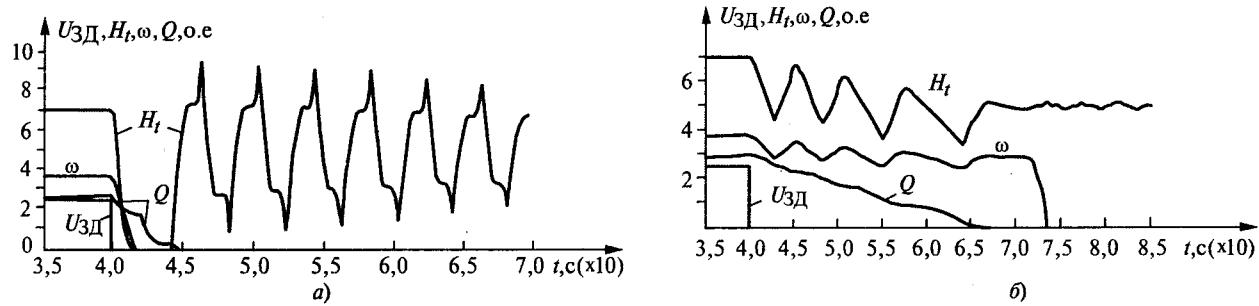


Рис.6. Кривые переходных процессов в системе РЭП-НА-Т при останове насоса, работающего на столб жидкости:

а — при быстром сбросе напора насоса; *б* — при финитном управлении напором; $U_{3Д}$ — задание напора (H_t — напор в трубопроводе за насосом; ω — частота вращения насоса, Q — подача насоса)

Практически принципы финитного управления реализованы в блоке цифрового регулятора давления (БЦРД), разработанного в ОАО "ВНИИР" на основе микроконтроллера PIC16C73A. Такой БЦРД установлен на насосной станции №1 1-й тепломагистрали ТЭЦ-3 г. Новочебоксарска и обеспечивает автоматическое поддержание давления на напорном коллекторе насосной станции с помощью изменения скорости двух частотно-регулируемых электроприводов ЭТА1-03 с электродвигателями А112-4М (320 кВт, 1500 об/мин) насосов СЭ 1250-70-11. Замена обычного ПИ-регулятора давления на БЦРД была произведена с целью исключения колебаний давления в тепломагистралях г. Новочебоксарска в часы водоразбора.

Структурная схема БЦРД представлена на рис.7. БЦРД обеспечивает три режима работы: режим финитного управления давлением в трубопроводе, режим пропорционально-интегрального регулятора давления (ПИРД) с изменяемой постоянной времени регулирования и режим отключения регулятора давления. Принцип его работы в режиме финитного управления заключается в поддержании постоянной прямой волны

напора в трубопроводе при изменении обратной волны и формирование управления напором за время кратное 4τ. БЦРД состоит из пропорционально-интегрального регулятора давления РД, блока переключения режимов БПР и двух каналов формирования сигнала ошибки на входе РД.

БПР вычисляет, исходя из сигналов давления и скорости насоса (U_h, U_ω), значения прямой и обратной волн [4]. Сигнал обратной волны $U_{h,0}$ фильтруется фильтром Φ . Если изменение $U_{h,0}$ превышает определенное значение (порог), появляется сигнал U_{po} и включается режим обратной волны (РО). В этом режиме значение прямой волны поддерживается постоянной, так как ошибка на входе РД формируется как разность зафиксированного при включении РО и текущего значений прямой волны $U_{h,n}$. Если изменение $U_{h,0}$ не превышает порогового значения, появляется сигнал U_{pp} и включается режим финитного формирования прямой волны (РП). Сигнал ошибки формируется как разность сигналов финитного задатчика интенсивности (ФЗИ) и сигнала давления насоса U_h . Темп нарастания сигнала на выходе ФЗИ постоянен на протяжении всего режима РП и определяется зафиксированным

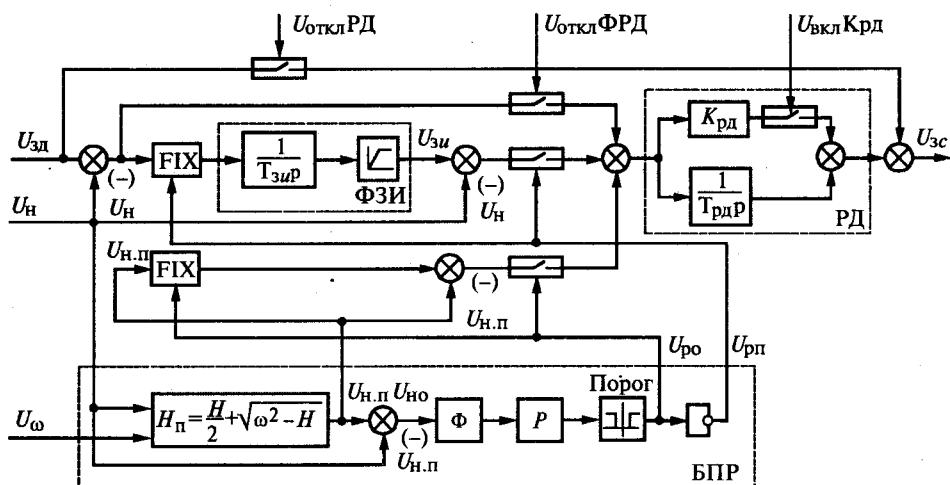


Рис.7. Структурная схема финитного регулятора давления

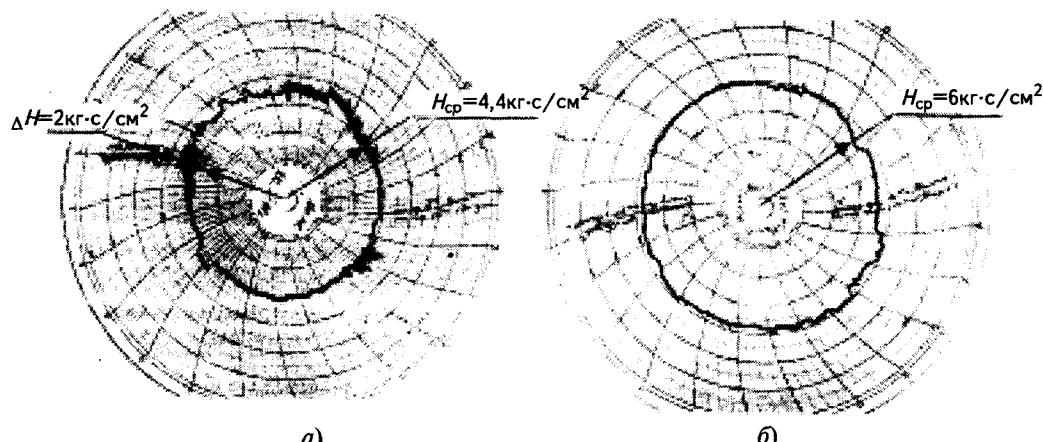


Рис.8. Суточные барограммы на всасывающем коллекторе насосной станции №1 г. Новочебоксарска:
а — до установки БЦРД; б — после установки БЦРД

значением разности сигналов задания давления $U_{зд}$ и давления насоса U_n . Постоянная времени ФЗИ подбирается такой, чтобы зафиксированная разность уменьшалась до нуля за время, кратное 4τ .

На приведенных суточных барограммах работы трубопровода до (рис.8,а) и после (рис.8,б) установки БЦРД видно устранение колебательных процессов в трубопроводе в часы водоразбора.

Выводы

1. В системах регулирования электроприводов насосов и вентиляторов, работающих на длинные трубопроводы, для обеспечения благоприятного качества переходных процессов целесообразно использование пропорционально-интегральных регуляторов технологического параметра (напора или подачи), в которых постоянная времени регулятора практически линейно зависит от длины трубопровода. В системах регулируемых электроприводов турбомеханизмов, работающих на длинные трубопроводы и имеющих возмущающие воздействия со стороны трубопровода, синтез системы автоматического управления целесообразно проводить по принципу построения оптимальных фильтров Винера.

2. Для управления напором в начале длинного трубопровода целесообразно применять финитное управление, которое практически обеспечивает исключение колебаний напора по всей длине трубопровода. Такое управление осуществля-

ется за время, кратное четырем периодам распространения волны напора из одного конца трубопровода в другой. Для управления напором в трубопроводе с изменяющимися и неопределенными параметрами рекомендуется применять систему автоматического регулирования напора, построенную в соответствии с принципами финитного управления. Такая система препятствует возникновению колебаний напора при любых его изменениях, в том числе и при возмущениях, приходящих со стороны трубопровода.

Список литературы

1. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. М.: Недра, 1951.
2. Бутковский А. Г. Методы управления системами с распределенными параметрами. М.: Наука, 1975.
3. Аракелян А.К., Шепелин А.В. К динамике режимов пуска и останова электроприводов турбомеханизмов // Электричество. 1998. №8. С. 35—42.
4. Аракелян А.К., Шепелин А.В. Системы автоматического управления электроприводов насосов, работающих на длинные трубопроводы// Электричество. 2000. №4. С.37—45.
5. Аракелян А.К., Шепелин А.В. О применении оптимальных фильтров в системах автоматического регулирования электроприводов насосов, работающих на длинные трубопроводы// Электричество. 2000. №6. С. 41—47.
6. Аракелян А.К., Тылюк В.К. Коммуникационная сеть как динамический объект в системах регулируемого электропривода турбомеханизма//Межвузовский сборник. Чебоксары: ЧувГУ, 1991. С.64—75.

Мультипроцессорная система управления асинхронным двигателем с ориентацией по вектору потока

ДОНСКОЙ Н.В., ВИШНЕВСКИЙ В.И.

Рассмотрен метод управления асинхронным двигателем с ориентацией по вектору потока и приведен практический метод управления на базе мультипроцессорной системы.

Необходимость экономии энергоресурсов, снижения уровня шума и дальнейшего развития автоматизации производства требует создания простых и надежных бесщеточных электроприводов. Этим требованиям в полной мере удовлетворяют регулируемые электроприводы с асинхронными короткозамкнутыми двигателями с частотно-токовым управлением от транзисторных преобразователей частоты.

Существует много способов и средств создания систем управления такими электроприводами. Однако наиболее предпочтительными являются системы управления на базе микропроцессоров. В данной статье рассматривается одна из таких систем, базирующаяся на использовании сигнальных микропроцессоров, позволяющих реализовать наиболее эффективный способ управления асинхронным двигателем с ориентацией по вектору потокосцепления двигателя при наличии обратных связей по токам фаз.

Основная проблема при реализации этого способа заключается в достаточно точном измерении потокосцепления статора. В данном случае применяется вычисление потокосцепления по замеренным линейным напряжениям и фазным токам статора.

Из уравнений Горева-Парка, записанных в векторной форме [1], следует, что вектор потокосцепления статора

$$\vec{\Psi}_1 = \int_0^t (\vec{U}_1 - \vec{I}_1 R_1) dt, \quad (1)$$

где \vec{U}_1 — вектор фазного напряжения; \vec{I}_1 — вектор фазного тока; R_1 — активное сопротивление фазы статора.

При построении систем управления АД приходится иметь дело с напряжениями и токами трехфазной машины, описываемыми как в неподвижной системе координат a, jb , так и в системе, вращающейся с частотой α . Поэтому необходимо производить преобразования координат. При переходе от неподвижной системы к вращающейся:

$$i_a = i_A; i_b = \frac{i_b - i_c}{\sqrt{3}}; [i_b = -(i_A + i_c); i_c = -(i_A + i_B)];$$

$$I_X = i_a \cos \theta + i_b \sin \theta; I_Y = -i_a \sin \theta + i_b \cos \theta, \quad (2)$$

где $\theta = \int_0^\tau \alpha d\tau$.

Это преобразование используется при формировании сигналов обратных связей (токов, напряжений), которое принято называть обратным.

При прямом преобразовании координат (от системы координат, вращающейся с частотой $\omega_{kc} = \alpha$, к неподвижной)

$$\begin{aligned} i_a &= I_x \cos \theta - I_y \sin \theta; & i_b &= I_x \sin \theta + I_y \cos \theta; \\ i_A &= i_a; i_B = -\frac{1}{2} i_a + \frac{\sqrt{3}}{2} i_b; & i_C &= -\frac{1}{2} i_a - \frac{\sqrt{3}}{2} i_b. \end{aligned} \quad (3)$$

Аналогичные зависимости имеют место для напряжений и потокосцеплений.

Управлять асинхронным двигателем можно, если для формирования задаваемых токов фаз $i_{1A3}, i_{1B3}, i_{1C3}$ использовать информацию о пространственном расположении вектора потокосцепления ротора $\vec{\Psi}_2$, найдя его составляющие Ψ_{2a}, Ψ_{2b} в неподвижной системе координат [2]. Модуль потокосцепления и угловое положение определяются соотношением:

$$|\vec{\Psi}_2| = \sqrt{\Psi_{2a}^2 + \Psi_{2b}^2}; \quad \cos \theta = \frac{\Psi_{2a}}{|\vec{\Psi}_2|}; \quad \sin \theta = \frac{\Psi_{2b}}{|\vec{\Psi}_2|}$$

Если вектор $\vec{\Psi}_2$ расположить вдоль вещественной оси a системы координат, вращающейся с частотой поля, то в этой системе, согласно (2):

$$\Psi_{2x} = |\vec{\Psi}_2| \cos^2 \theta + |\vec{\Psi}_2| \sin^2 \theta = |\vec{\Psi}_2|; \quad \Psi_{2y} = 0.$$

Выполнив при найденном θ прямое преобразование задаваемых токов I_{1x3}, I_{1y3} из вращающейся системы координат в неподвижную сис-

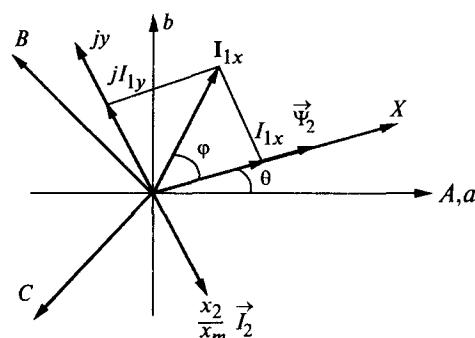


Рис.1. Векторная диаграмма. Прямая ориентация по вектору потока

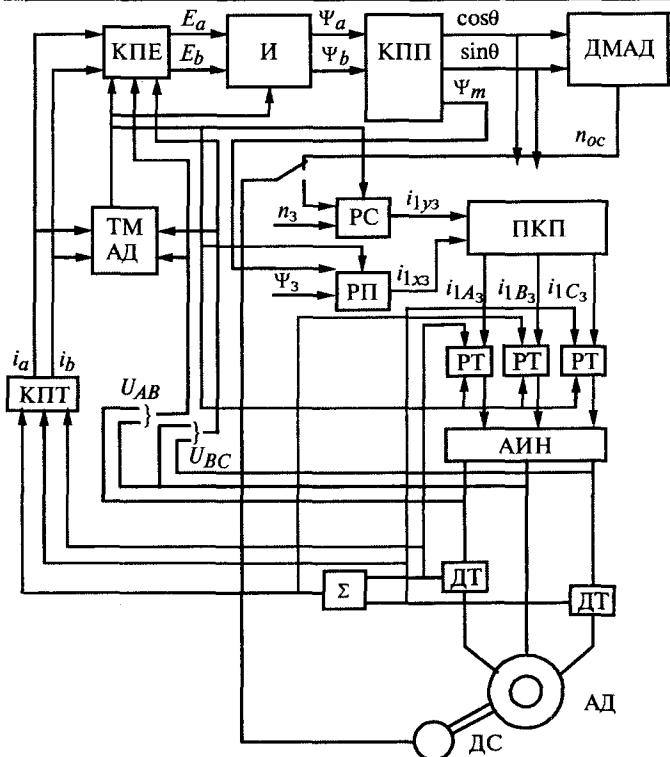


Рис.2. Функциональная схема частотно-токового векторного управления асинхронного двигателя с прямой ориентацией по вектору потока.

тему координат согласно (3), приняв $I_{13} = \text{const}$, получим, что задаваемые токи i_{1a3} , i_{1b3} и задаваемые токи фаз будут сформированы таким образом, что задаваемый ими вектор потокосцепления:

$$\bar{\Psi}_2 = \Psi_{2x} = x_m I_{1x} = \text{const},$$

а вращающийся момент будет описываться соотношением:

$$\mu = \frac{x_m}{x_2} \Psi_{2x} I_{1y}.$$

Такое управление называется векторным частотно-токовым с прямой ориентацией по вектору потока, где отпадает необходимость формировать скольжение β и задавать частоту, а они устанавливаются таким образом, что условие:

$$\bar{\Psi}_2 = \Psi_{2x} = \text{const}, \quad \mu = I_{1y}$$

выполняется автоматически в пределах измерения угла θ .

Информация о потокосцеплении $\bar{\Psi}_m$ может быть определена измерением ЭДС, наводимых потокосцеплением в воздушном зазоре вдоль осей a , b , и токов фаз i_{1A} , i_{1B} , i_{1C} . Составляющие $\bar{\Psi}_2$ находятся вычислением по соотношениям:

$$\Psi_{2a} = \frac{x_2}{x_m} \int e_{ma} d\tau - i_{1a} x_{2\sigma} = \frac{x_2}{x_m} \int (u_a - i_a R) d\tau - i_{1a} x_{2\sigma}; \quad (4)$$

$$\Psi_{2b} = \frac{x_2}{x_m} \int e_{mb} d\tau - i_{1b} x_{2\sigma} = \frac{x_2}{x_m} \int (u_b - i_b R) d\tau - i_{1b} x_{2\sigma}. \quad (5)$$

Функциональная схема частотно-токового векторного управления асинхронного двигателя с прямой ориентацией по вектору потока представлена на рис.3. В этой схеме информация о составляющих вектора $\bar{\Psi}_m$ определяется в функции интеграла (И) составляющих ЭДС E_a и E_b (4), (5), которые вычисляются в координатном преобразователе ЭДС (КПЕ) в функции линейного напряжения U_{AB} и U_{BC} и сигнала с целью IR-компенсации. Составляющие вектора тока статора i_{1a} , i_{1b} формируются согласно (2) в координатном преобразователе тока КПТ. В координатном преобразователе потока вычисляются $|\bar{\Psi}_m|$, $\cos\theta$, $\sin\theta$. В блоке ПКП осуществляется преобразование токов I_{1x} , I_{1y} , описанные во вращающейся системе координат с частотой α , в токи задания I_{1A3} , I_{1B3} , I_{1C3} фаз статора, которые сравниваются с сигналами обратной связи с датчиков токов соответствующих фаз и поступают на входы регуляторов тока фаз статора. Сигналы I_{1x} , I_{1y} являются сигналами выхода регуляторов потока (РП) и скорости (РС). Сигналом обратной связи по скорости может служить значение косвенно вычисленной скорости в динамической модели двигателя (ДМАД) или сигнал с выхода механического либо цифрового датчика скорости, установленного на валу двигателя. В данной структуре предусмотрена температурная модель двигателя (ТМАД) для коррекции настройки привода в функции параметров двигателя, зависящих от температуры.

Для практической реализации указанного способа регулирования, дополнительного моделирования, решения задач диагностики самонастройки, коммуникаций разработана мультипроцессор-

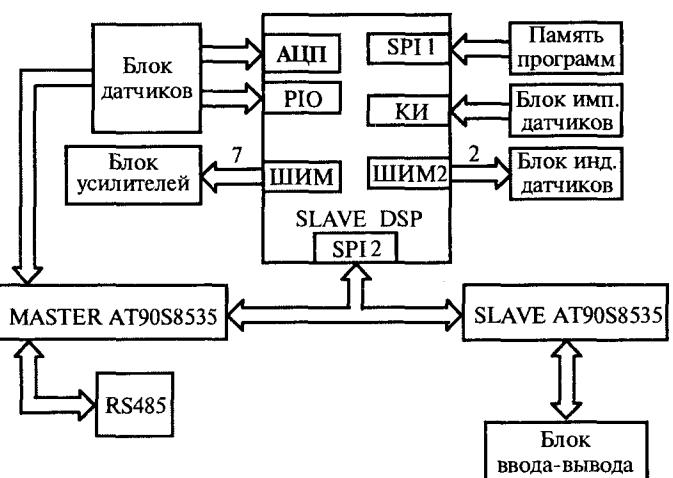


Рис.3. Блок-схема мультипроцессорной системы управления

ная плата управления, содержащая в своем составе управляющий MASTER процессор AT90S8535 фирмы «ATMEL», выполняющий функции формирования команд, диагностики, загрузчика управляющей программы, арбитра внутреннего последовательного интерфейса, связи с пользовательским интерфейсом или выносным пультом управления. Специализированный сигнальный DSP процессор ADMC300BST фирмы «ANALOG DEVISES», в котором реализован основной алгоритм управления, выполняет функции SLAVE процессора, служебный процессор AT90S8535 фирмы «ATMEL» реализует технологический регулятор, температурную модель двигателя и коррекции параметров настройки.

В состав DSP процессора входят сигнальный микропроцессор ADSP2171, 4K 24-битных слова пользовательской оперативной памяти программ, 1K 16-битных слов пользовательской оперативной памяти данных, 2K 24-битных слов ПЗУ, 5 независимых сигма-дельта каналов аналого-цифрового преобразования (3 канала задействованы для преобразования сигналов с датчиков токов, синхронизированных с ШИМ-генератором, и 1 для измерения напряжения в звене постоянного тока), ШИМ-генератор для управления драйверами силовых транзисторных модулей, кодовый интерфейс (КИ) для связи с цифровыми датчиками, 12 входов ввода-вывода (PIO), перенастраиваемые на альтернативные функции: источники внешних прерываний (используются для оценки временных параметров импульсной функции линейного напряжения), блокировки и

синхронизации ШИМ-генератора, входных сигналов для 2-канального интервального таймера, дополнительного 2-канального ШИМ-генератора, которые могут использоваться для питания индуктивных датчиков положения, 2 синхронных SPI последовательных канала, интервальный таймер. Связь с управляющим процессором MASTER осуществляется посредством высокоскоростного SPI канала. В качестве MASTER процессора использован AT90S8535 с RISC структурой и включающий в себя 8K байт FLASH памяти программ, 512 байт оперативной памяти, UART интерфейс, 8 мультиплексированных каналов 10-разрядного АЦП, SPI интерфейс. MASTER процессор выполняет функции первого пуска, посредством формирования команд для SLAVE процессоров и последующей корректировки работы привода в функции защиты привода, тепловой модели двигателя, команд, полученных от пользовательского интерфейса или выносного пульта управления. Обобщенная функциональная схема платы управления приведена на рис.3.

Описанный принцип управления опробован на математической модели привода и в последующем на макетном образце.

Список литературы

1. Ковач К.П., Рац И.П. Переходные процессы в машинах переменного тока. М.: Госэнергоиздат, 1963.
2. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых приводах. Чебоксары: ЧувГУ, 1998.

Направленная токовая защита с блокировкой с элементами адаптации

СТЕПАНОВ Г.Н.

Рассмотрены возможности построения направленной токовой защиты с блокировкой с элементами адаптации для сетей постоянного тока. Для этого предлагается использовать информацию о токе нагрузки до наступления аварийного режима. Выведены основные соотношения для характеристики срабатывания такой защиты для различных конфигураций защищаемой зоны. Проведенные испытания образцов защиты подтвердили правильность высказанных предположений.

Принцип работы системы селективной направленной защиты с блокировкой (НТЗБ) сети постоянного тока основан на измерении направления и значения тока по концам защищаемой зоны и определении наличия и места повреждения тока короткого металлического или дугово-

го замыкания (КЗ) путем логической обработки полученной информации [1].

Устройства защиты связаны между собой цепями блокировки (ЦБ) [2,3]. Разрешение на срабатывание защиты имеется только в том случае, если напряжение в цепи блокировки находится

в определенных пределах. Подача блокирующего сигнала с устройства защиты, в зоне которого произошло КЗ, на соседние осуществляется путем закорачивания цепи блокировки ключом этого устройства. При этом накладывается запрет на срабатывание устройств защиты неповрежденных участков защищаемой сети.

Каждое устройство НТЗБ содержит блокирующие (БО) и реагирующие органы (РО).

Для обеспечения селективности НТЗБ, описанной в [1], выбор уставок БО и РО выполняется по следующим выражениям.

Уставка срабатывания БО (I_{BO}):

$$I_{BOj} = I_{hj} \left(\frac{l_j}{1-\gamma} + \gamma_0 \right) \approx I_{hj}[l_j(1+\gamma) + \gamma_0] \text{ при } l > 0;$$

$$I_{BOj} = I_{hj}\gamma_0 \quad \text{при } l \leq 0, \quad (1)$$

где I_{hj} — номинальный ток j -го питаемого фидера; l_j — расчетная кратность тока отсоса (+1) или подпитки (-1) в питаемом фидере по отношению к его номинальному току; γ и γ_0 — аддитивная и мультипликативная погрешности, соответственно.

Уставка срабатывания РО i -го питаемого фидера (I_{POi}):

$$I_{POi} = \sum_{j=1}^m I_{hj}[l_j(1+\gamma)^3 + 2\gamma_0] + I_{hi}\gamma_0, \quad (2)$$

где m — возможное число питаемых фидеров.

Здесь предполагается, что в наихудшем случае ток отсоса будет во всех питаемых фидерах изменяться одинаково, а через каждый питаемый фидер в момент начала аварийного режима протекал ток, равный номинальному току соответствующего фидера.

Кратности токов отсоса (l) в этом случае при дуговых КЗ с высоким остаточным напряжением могут достигать значительных величин [4], поэтому при расчете уставок l_j берется равной 0,7–0,8, т.е. учитывается наихудший случай установившегося режима работы электроэнергетической системы (ЭЭС).

Фактически же одновременно не все питаемые фидеры потребляют ток, равный номинальному, он чаще всего меньше номинального и в некоторых режимах даже отсутствует. Поэтому выбор уставок срабатывания в расчете на наихудший случай приводит к резкому загрублению защиты, причем фактическая чувствительность в этом случае зависит от значения фактического тока отсоса. Очевидно, что для получения достаточно высокой чувствительности в различных аварийных ситуациях защита должна обладать способностью адаптироваться.

Рассмотрим возможные пути и средства адаптации.

Ориентировочные расчеты показывают, что фактическая кратность тока отсоса (I_ϕ) определяется выражением (приложение):

$$I_\phi = I_{hj} + (I_{nj}/I_{hj} - 1), \quad (3)$$

где I_ϕ — фактическая кратность тока отсоса, соответствующая загрузке питаемого фидера перед наступлением аварийного режима; I_{hj} — кратность тока отсоса при номинальном токе питаемого фидера до наступления аварийного режима; I_{nj} — ток питаемого фидера перед наступлением аварийного режима.

Из выражения (3) следует, что для повышения чувствительности уставка БО должна адаптироваться в соответствии со значением тока питаемого фидера до наступления аварийного режима.

В выражении (2) для определения уставки срабатывания РО суммирование производится по всем возможным питаемым фидерам, хотя обычно часть фидеров бывает отключенной или обеспеченной. Поэтому для повышения чувствительности имеется необходимость в адаптации уставки срабатывания РО, учитывющей состояние питаемых фидеров.

Рассмотрим, как должны изменяться уставки срабатывания БО и РО.

Подставляя (3) в (1), получаем:

$$I_{BOj} = I_{hj}[(1+\gamma)(I_{hj}-1) + \gamma_0] + (1+\gamma)I_{nj}. \quad (4)$$

Приняв в качестве рабочей гипотезы условие, что нормально в статике через питаемые присоединения ток нагрузки не должен превышать номинального значения, уставки срабатывания можно найти из следующих выражений:

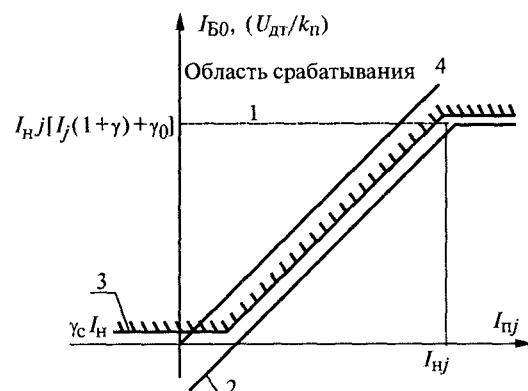


Рис.1. Уставки срабатывания БО (1–3), определяемые: 1 — по формуле (1); 2 — по формуле (5); 3 — по формуле (6), и зависимость $U_{DT}/k_n = f(I_\phi)$ (кривая 4), где U_{DT} — выходное напряжение датчика тока (ДТ); k_n — коэффициент преобразования ДТ; I_ϕ — контролируемый ток (фидера)

$$I_{BOj} = I_{hj}[(1+\gamma)(l_{hj}-1) + \gamma_0] + (1+\gamma)I_{pj}$$

при $I_{pj} < I_{hj};$

$$I_{BOj} = I_{hj}[(1+\gamma)(l_{hj}-1) + \gamma_0]$$

при $I_{pj} \geq I_{hj}.$

(5)

Зависимости 1 и 2 на рис.1 построены соответственно по формулам (1) и (5).

Однако при этом возможны отказы в срабатывании защиты, вызванные тем, что БО отключенного фидера будет все время выдавать блокирующие сигналы. Этот недостаток легко устраняется, если зависимость уставки срабатывания БО от I_{hj} будет соответствовать ломаной линии 3, которая описывается выражениями

$$I_{BOj} = I_{hj} \quad \text{при } I_{pj} \leq I_{hj}[(1+\gamma)(l_{hj}-1) + \gamma_0];$$

$$I_{BOj} = I_{hj}[(1+\gamma)(l_{hj}-1) + \gamma_0] + (1+\gamma)I_{pj}$$

при $I_{hj}[(1+\gamma)(l_{hj}-1) + \gamma_0] \leq I_{pj} \leq I_{hj};$

$$I_{BOj} = I_{hj}[(1+\gamma)(l_{hj}-1) + \gamma_0] \quad \text{при } I_{pj} \geq I_{hj}.$$
(6)

Рассмотрим уставки срабатывания реагирующих органов I_{po} в адаптирующейся защите для типовых участков. При расчете уставок будем использовать выражение (6).

Перемычка

Перемычку можно рассматривать как зону с одним питающим и одним питаемым присоединением. Тогда из (2) с учетом, что $I_{hi} = I_{hj} = I_h$, следует

$$I_{PO} = 3\gamma_0 I_h \quad \text{при } I_{pj} \leq I_{hj}[(1+\gamma)(l_{hj}-1) + \gamma_0];$$

$$I_{PO} = 3\gamma_0 I_h + (1+\gamma)^3 [I_h(l_h - 1) + I_{pj}]$$

при $I_{hj}[(1+\gamma)(l_{hj}-1) + \gamma_0] \leq I_{pj} \leq I_{hj};$

$$I_{PO} = 3\gamma_0 I_h + I_h l_h (1+\gamma)^3 \quad \text{при } I_{pj} \geq I_{hj}.$$
(7)

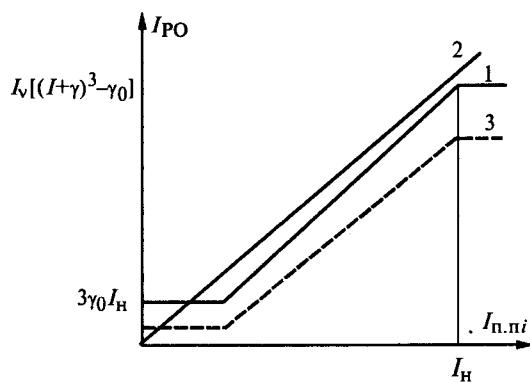


Рис.2.. Зависимость тока срабатывания РО от тока предварительного режима (1); переходная характеристика датчика тока (2) и уставка БО по формуле (6) (кривая 3)

Зона с одним питающим и несколькими питаемыми присоединениями

Здесь выражение для уставок срабатывания реагирующего органа имеет вид

$$I_{PO} = \gamma_0 \left(I_{hi} + 2 \sum_{j=1}^m I_{hj} \right)$$

при $\sum_{j=1}^m I_{pj} \leq \sum_{j=1}^m I_{hj}[(1+\gamma)(l_{hj}-1) + \gamma_0];$

(8)

$$I_{PO} = \gamma_0 \left(I_{hi} + \sum_{j=1}^m I_{hj} \right) + (1+\gamma)^3 \left\{ \sum_{j=1}^m I_{hj}[(l_{hj}-1) + 2\gamma_0] + \sum_{j=1}^m I_{hj} \right\}$$

при $I_{hj}[(1+\gamma)(l_{hj}-1) + \gamma_0] \leq I_{pj} \leq I_{hj};$

$$I_{PO} = \gamma_0 I_h + \sum_{j=1}^m I_{hi} [l_h (1+\gamma)^3 + 2\gamma_0]$$

при $\sum_{j=1}^m I_{pj} \geq \sum_{j=1}^m I_{hj}.$

В случае равенства $I_{hi} = \sum_{j=1}^m I_{hj}$ выражения (8) аналогичны выражениям (7).

На рис.2 приведена зависимость уставки срабатывания РО по выражениям (7).

Зона с несколькими питаемыми и питающими присоединениями

Для такой зоны основоопределяющим при выборе уставок реагирующего органа является режим переключения нагрузки с одного источника питания на другой. При этом предельным является такой режим, когда вся нагрузка питалась от отключаемого источника питания, а другой источник питания до этого работал вхолостую. Эквивалентная схема для этого случая приведена на рис.3. Индексы относятся: 1 — к источнику питания на "холостом ходу"; 2 — к от-

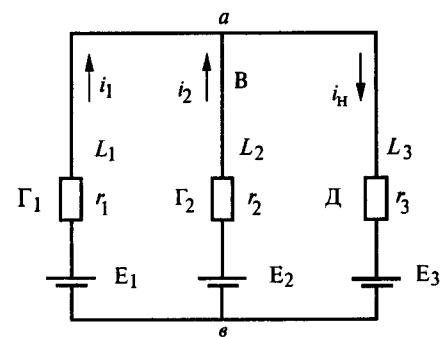


Рис.3. Эквивалентная (расчетная) схема

ключаемому источнику питания; h — к нагрузке. Остальные обозначения понятны из схемы. При отключении выключателя B всю нагрузку принимает на себя источник $G1$. Во время переходного процесса ток нагрузки на какой-то момент может снизиться и при этом произойдет отпускание БО, ток $G2$ резко возрастает, а так как до этого ток через $G2$ не протекал, то уставку РО необходимо выбрать с учетом описанного режима. Принятие для расчета схемы рис.3 определено тем, что за время 0,05...0,1 с изменение скорости двигателей (нагрузка) и потока возбуждения будет очень мало и практически не скажется на расчетах.

На рис.4 приведена кривая изменения тока при отключении выключателя B (кривая 1) в цепи с индуктивно-активной нагрузкой [5]. Для упрощения расчета кривая 1 аппроксимирована прямой 2, что дает некоторый запас в уставке срабатывания РО.

Тогда уравнение для тока i_2 во время коммутаций можно записать так:

$$i_2 = I_2(1 - t/T_0), \quad (9)$$

где t — текущее значение времени, отсчитываемое с момента начала коммутации.

Рассмотрим наиболее неблагоприятный случай, когда E_1 равна разности потенциалов между точками a , b (рис.3), а также $E_2 > E_1 > E_h$.

Согласно закону Кирхгофа (при коммутации B) имеем

$$E_1 - E_h = i_1(r_1 + r_h) + (L_1 + L_h) \frac{di_1}{dt} + i_2 r_h + i L_h \frac{di_2}{dt}. \quad (10)$$

Решение (10) с учетом (9) относительно i_1 имеет вид

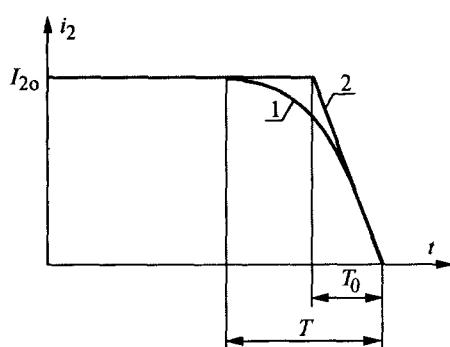


Рис.4. Изменение тока i_2 при отключении B (рис.4) кривая 1 и ее аппроксимация (кривая 2)

$$i_1 = \left[\frac{E_1 - E_h}{r_1 + r_h} + I_2 \frac{r_h}{r_1 + r_h} \left(\frac{T_h - T_1 - T_0}{T_0} \right) \right] \times \\ \times \left(1 - e^{-t/T_0} \right) + I_2 \frac{r_h}{r_1 + r_h} \frac{t}{T_0} + I_1 e^{-t/T_0}, \quad (11)$$

где I_1 и I_2 — токи i_1 и i_2 перед началом коммутации;

$$T_h = \frac{L_h}{r_h}; \quad T_1 = \frac{L_1 + L_h}{r_1 + r_h}.$$

При $I_1 = 0$ имеем

$$E_1 - E_h = I_2 r_h. \quad (12)$$

Для момента времени $t = T_0$, т.е. к концу отключения B с учетом (12), выражение (11) выглядит следующим образом:

$$i_1 = I_2 \frac{r_h}{r_1 + r_h} \left[\frac{T_h - T_1}{T_0} \left(1 - e^{-t/T_0} \right) + 1 \right]. \quad (13)$$

В пределе, если $T_0 \rightarrow 0$, то при $t = T_0$

$$i_1 = I_2 \frac{L_h}{L_h + L_1} \text{ и } i_h = i_1, \quad (14)$$

т.е. ток, поступающий в нагрузку, уменьшается до значения, определяемого формулой (14), что приводит к появлению разрешения на срабатывание со стороны блокирующих органов, поэтому для исключения ложной работы минимальная уставка срабатывания РО при нескольких питающих присоединениях должна быть не меньше, чем суммарный ток питаемых присоединений в установленном режиме.

При этом, если исходить из того, что каждый питающий фидер должен обеспечивать всю нагрузку присоединений в номинальном режиме, т.е. $I_{hj} \geq \sum_{j=1}^m I_{hj}$, то минимальная уставка РО

при $I_{hj} = 0$ должна быть равной номинальному току этого фидера с учетом погрешностей датчиков тока, т.е.

$$I_{POi} = \sum I_{hj} \frac{1}{1-\gamma} + \gamma_0 I_{hj} \approx I_{hi}(1 + \gamma + \gamma_0).$$

Если же номинальный ток питающего присоединения меньше суммы номинальных токов питаемых присоединений, то очевидно, что наброс нагрузки на остающийся в работе источник питания при отключении другого не будет превышать номинального тока наиболее мощного из питающих присоединений, при этом считается маловероятным отключение одного из источников питания в таких нормальных эксплуатаци-

онных режимах, как пусковые режимы электродвигателей и т. д.

В этом случае, очевидно, уставка реагирующего органа определяется выражением

$$I_{POi} = \begin{cases} \frac{I_{hik}}{1-\gamma} + \gamma_0 I_{hi} + I_{n.pi} & \text{при } \frac{I_{hik}}{1-\gamma} + \gamma_0 I_{hi} + I_{n.pi} < I_{id}; \\ I_{id} & \text{при } \frac{I_{hik}}{1-\gamma} + \gamma_0 I_{hi} + I_{n.pi} \geq I_{id}, \end{cases}$$

где I_{hik} — номинальный ток наиболее мощного питающего присоединения; $I_{n.pi}$ — ток рассматриваемого питающего присоединения; I_{id} — максимальнодопустимый при нормальной эксплуатации ток рассматриваемого присоединения.

Таким образом, приращение тока в питаемом фидере, на которое реагирует устройство, в худшем случае равно $I_{hik}(1+\gamma)$.

В простейшем случае память о предварительном режиме можно реализовать с помощью инвертирующего апериодического звена на R-C цепи [5].

Были разработаны и испытаны образцы устройства направленной токовой защиты с блокировкой с элементами адаптации. Проведенные расчеты для ряда различных конфигураций защищаемых участков, а также испытание на натурном стенде показали, что чувствительность рассматриваемой защиты по сравнению с обычной направленной токовой защитой с блокировкой в 2–2,5 раза выше.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Ориентировочный расчет фактической кратности тока отсоса (I_ϕ) проведем при следующих предпосылках:

1. Нас интересует значение (I_ϕ) в первые 30–60 мс после начала аварийного режима и высоких остаточных напряжениях в месте КЗ.
2. В течение указанного времени ЭДС потребителя (электродвигатели постоянного тока)

практически не изменится, так как постоянные времени: электромеханическая и цепи возбуждения составляют несколько сотен миллисекунд.

3. К указанному времени переходные процессы, связанные с электромагнитной постоянной времени якорной цепи, практически затухают.

ЭДС двигателя (эквивалентного потребителя) перед наступлением аварийного режима

$$E_d = U - I_n r_d, \quad (\text{П.1})$$

где U — напряжение сети перед началом аварийного режима; r_d — активное сопротивление цепи якоря двигателя; I_n — ток питаемого фидера перед наступлением аварийного режима.

Ток отсоса

$$I_{otc} = \frac{U_{kz} - E_d}{r_d}; \quad (\text{П.2})$$

где U_{kz} — остаточное напряжение КЗ.

Фактическая кратность тока с учетом (П.1) и (П.2)

$$I_{\phi j} = \frac{I_{otc}}{I_n} = \frac{U_{kz} - E_d}{r_d I_n} = I_{hj} + (I_n / I_n - 1),$$

где I_n — номинальный ток.

Список литературы

1. Линтрап В. М., Степанов Г. Н. Направленная токовая защита с блокировкой для сетей постоянного тока// Тр. ВНИИР. 1978. Вып.8. С. 49–55.
2. А. с. № 555492 СССР. Устройство для блокировки селективной защиты, выполненной с обменом дискретной информации между концами защищаемого участка/ В. Ф. Воропаев, Г. Н. Степанов//Открытия. Изобретения. 1977. № 15.
3. А. с. № 610227 СССР. Устройство для блокировки селективной защиты, выполненной с обменом дискретной информации между концами защищаемого участка/ В. Ф. Воропаев, Г. Н. Степанов//Открытия. Изобретения. 1978. № 21.
4. Кириевский Е. В., Степанов Г. Н., Фоменко Г. П. Моделирование аварийных режимов машин постоянного тока для оценки релейных защит// Электричество. 1976. № 2. С. 43–46.
5. А. с. № 729742 СССР. Устройство защиты сетей постоянного тока/ В. Н. Бочкарев, Г. Н. Степанов// Открытия. Изобретения. 1980. № 15.
6. Рюденберг Р. Переходные процессы в электроэнергетических системах. М.: ИЛ. 1955.

К анализу трехфазной четырехдиодной схемы выпрямления для питания обмоток электромагнитных механизмов

САГАРАДЗЕ Е.В., СВИНЦОВ Г.П.

Получены расчетные выражения постоянной составляющей тока в обмотке электромагнитного механизма и в диодах схемы выпрямления, пульсации тока в обмотке, потребляемой и рассеиваемой ею мощности.

Для питания обмоток электромагнитных механизмов (ЭММ) от сети переменного напряжения находят применение диоды и тиристоры. Их использование обусловлено рядом преимуществ бесконтактного управления [1–3] ЭММ и питания их выпрямленным напряжением. Последнее позволяет преодолеть противоречие между недостаточной эффективностью ЭММ, магнитные системы которых обтекаются знакопеременным магнитным потоком [4], и необходимостью использовать для питания обмоток сеть переменного тока и напряжения, являющиеся наиболее широко распространенными. Как отмечается в [4], это направление становится основным в развитии ЭММ переменного тока и напряжения, особенно для специальных применений. Отметим, что в настоящее время приводные электромагниты, питающиеся через схему выпрямления (ЭМВН), получили распространение и в аппаратуре общепромышленного применения [5–8 и др.].

Достаточно полно известные однофазные схемы выпрямления (СВ) для питания ЭММ рассмотрены в [4]. Однако в технической литературе отсутствуют сведения о характеристиках и режимах работы трехфазной СВ [9] (рис.1,а).

Ниже приводятся результаты теоретического анализа этой СВ при установленном режиме работы, проведенного с целью определения постоянной составляющей (I_0) тока, его пульсации (p_n), постоянных составляющих токов, протекающих по диодам, потребляемой (S) и рассеиваемой (P) мощности ЭММ. При анализе принято, что: а) полупроводниковые элементы идеальны; б) индуктивность ЭММ на частном цикле перемагничивания не зависит от значения тока и определяется по линеаризованной кривой намагничивания магнитной системы; в) потери на вихревые токи и перемагничивание стали пре-небрежимо малы [4].

При исследовании СВ периодическая несинусоидальная функция, описывающая напряжение на обмотке (рис.1,б диаграмма U_{OM}), представляется в виде тригонометрического ряда [10]:

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t, \quad (1)$$

где

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \cos n\omega t dt; \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \sin n\omega t dt;$$

U_0 — постоянная составляющая напряжения на обмотке ЭММ; T — период функции напряжения; n — номер гармонической составляющей напряжения на обмотке.

Ток в обмотке находится методом наложения с использованием для определения его гармонических составляющих комплексного метода расчета [10]. Пульсация тока в обмотке определяется так:

$$p_n = 1 - i_{min}, \quad (2)$$

где $i_{min} = i_{min}/I_0$; i_{min} — мгновенное минимальное значение тока в обмотке; I_0 — постоянная составляющая тока в обмотке.

Отметим, что знание i_{min} (при известных I_0 , p_n) необходимо для обоснованного выбора коэффициента запаса по МДС удержания.

Полная мощность, потребляемая ЭММ, определяется [10] выражением:

$$S = \frac{U}{\sqrt{3}} (I_A + I_B + I_C), \quad (3)$$

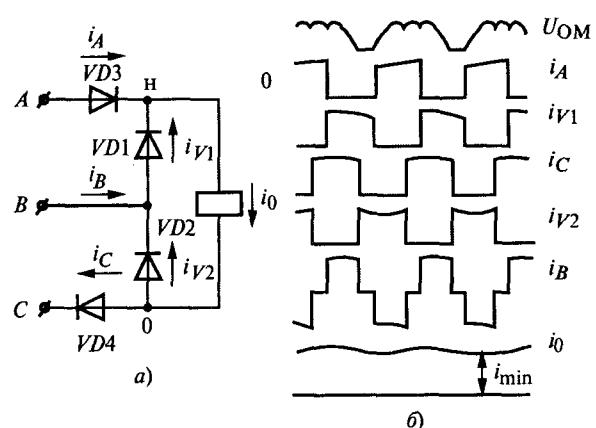


Рис.1. Трехфазная четырехдиодная схема питания (а) однообмоточного электромагнитного механизма и экспериментальные диаграммы токов и напряжений на обмотке (б)

где U — действующее значение линейного напряжения питания; I_A, I_B, I_C — действующие значения фазных токов.

Активная мощность, выделяющаяся на сопротивлении обмотки, рассчитывается по соотношению:

$$P = I_d^2 R, \quad (4)$$

где R — активное сопротивление обмотки ЭМ; I_d — действующее значение тока в обмотке, определяемое выражением

$$I_d = I_0 \sqrt{1 + (I_1/I_0)^2 + (I_2/I_0)^2 + (I_3/I_0)^2 + \dots} \quad (5)$$

В (5) через I_i обозначены действующие значения i -х гармонических составляющих тока в обмотке. Выражения (3), (4) преобразованы и записаны в виде:

$$S = K_S U^2 / R; \quad (6)$$

$$P = K_p U^2 / R. \quad (7)$$

Коэффициенты K_S и K_p определяются СВ [11] и зависят от добротности обмотки (Q — отношение индуктивного сопротивления (ωL) к активному сопротивлению обмотки R при круговой частоте источника питания (ω)).

Исследуемая СВ для питания однообмоточного ЭММ [9] по трехпроводной линии изображена с указанием направления токов, протекающих в схеме, на рис.1,а.

Работа СВ характеризуется 4-мя интервалами (рис.1,б). За начало отсчета времени принят момент отпирания диода $VD3$. Напряжение на обмотке описывается тремя участками синусоиды и может быть записано в виде:

$$u(t) = \begin{cases} U_m \sin \omega t & \text{при } 0 \leq \omega t < 2\pi/3; \\ U_m \sin(\omega t - \pi/3) & \text{при } 2\pi/3 \leq \omega t < \pi; \\ U_m \sin(\omega t - 2\pi/3) & \text{при } \pi \leq \omega t < 5\pi/3; \\ 0 & \text{при } 5\pi/3 \leq \omega t < 2\pi. \end{cases} \quad (8)$$

Разложив кривую напряжения в ряд (1), запишем аналитическое выражение мгновенного тока в обмотке:

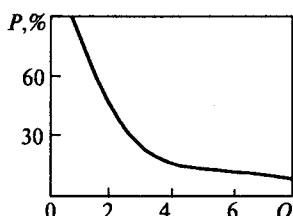


Рис.2. Зависимость пульсации МДС от добротности обмотки

$$i_0 = I_0 \left[1 + \frac{\pi \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{3} - \varphi\right)}{4\sqrt{1+Q^2}} + \frac{\sin\left(2\omega t - \frac{\pi}{6} - \varphi_2\right)}{3\sqrt{1+(2Q)^2}} - \frac{\sin\left(4\omega t + \frac{\pi}{6} - \varphi_4\right)}{15\sqrt{1+(4Q)^2}} \dots \right], \quad (9)$$

где $I_0 = \frac{2U_m}{\pi R}$; $\varphi = \arctg Q$; $\varphi_2 = \arctg 2Q$; $\varphi_4 = \arctg 4Q$.

Расчеты по (9) показывают, что уже при $Q = 1$ амплитуда четвертой гармонической составляющей в 9,2 раза меньше амплитуды второй гармонической составляющей и поэтому в дальнейших выкладках не учитывалась. Зависимость пульсации тока от добротности обмотки, рассчитанная по (2), представлена на рис.2.

Мощность, рассеиваемая на обмотке ЭММ, вычисляется из соотношения (4) с учетом (5), и для данной СВ коэффициент K_p , в соответствии (7), получен в виде:

$$K_p = 0,81 \left[1 + \frac{0,308}{1+Q^2} + \frac{0,056}{1+(2Q)^2} \right], \quad (10)$$

а полная потребляемая ЭМ мощность, определяется соотношением (3), где

$$\begin{aligned} I_A &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi i_0^2 d\omega t}; \\ I_B &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left(\int_0^{2\pi/3} i_0^2 d\omega t + \int_0^{5\pi/3} i_0^2 d\omega t \right)}; \\ I_C &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{2\pi/3}^{5\pi/3} i_0^2 d\omega t}. \end{aligned}$$

Ограничившись в (9) тремя первыми слагаемыми, определим действующие значения фазных токов. Коэффициент K_S в (6) принимает вид:

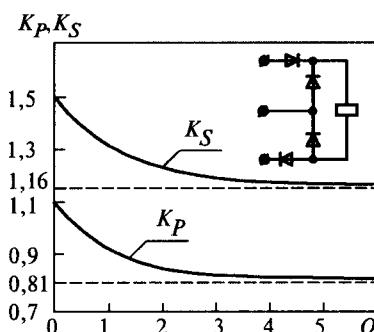


Рис.3. Зависимости коэффициентов тепловых потерь и полной потребляемой мощности от добротности обмотки

$$\begin{aligned}
 K_S = 0,207 & \left\{ \left[\left(1 + \frac{d_1^2}{2} + \frac{d_2^2}{2} \right) \pi + 4d_1 \sin\left(\frac{\pi}{6} - \varphi\right) - \right. \right. \\
 & - 2d_1 d_2 \sin\left(\frac{\pi}{6} + \varphi - \varphi_2\right) - \frac{2}{3} d_1 d_2 \cos(\varphi + \varphi_2) \left. \right]^{\frac{1}{2}} + \\
 & + \left[\left(1 + \frac{d_1^2}{2} + \frac{d_2^2}{2} \right) \pi + 4d_1 \sin\left(\frac{\pi}{6} + \varphi\right) - \right. \\
 & - 2d_1 d_2 \sin\left(\frac{\pi}{6} + \varphi_2 - \varphi\right) - \frac{2d_1 d_2}{3} \cos(\varphi + \varphi_2) \left. \right]^{\frac{1}{2}} + \\
 & + \left[\left(1 + \frac{d_1^2}{2} + \frac{d_2^2}{2} \right) \frac{4\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{2} d_1^2 \cos 2\varphi - \right. \\
 & \left. \left. - \frac{\sqrt{3}}{4} d_2 \cos 2\varphi_2 + 2\sqrt{3} d_2 \cos \varphi_2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}. \tag{11}
 \end{aligned}$$

В выражении (11) обозначено: $d_1 = (\pi/4)\cos\varphi$, $d_2 = \cos\varphi_2/3$.

Графики расчетных зависимостей коэффициентов K_S и K_p от значения добротности обмотки представлены на рис.3. Пределы изменения коэффициентов составляют: $K_S = 1,49 \div 1,16$, $K_p = 1,11 \div 0,81$.

Постоянные составляющие токов, протекающих через диоды (рис.1, а), равны:

$$\begin{aligned}
 I_{OVD1} &= \frac{1}{2\pi} \int_{\pi}^{2\pi} i_0 d\omega t = \frac{I_0}{2} \left[1 - \frac{\cos\left(\frac{\pi}{3} + \varphi\right)}{2\sqrt{1+Q^2}} \right]; \\
 I_{OVD2} &= \frac{1}{2\pi} \left(\int_{\pi}^{2\pi} i_0 d\omega t + \int_{5\pi/3}^{2\pi} i_0 d\omega t \right) = \frac{I_0}{2} \left[1 - \frac{\sin\left(\frac{\pi}{3} + \varphi\right)}{2\sqrt{1+Q^2}} \right]; \\
 I_{OVD3} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} i_0 d\omega t = \frac{I_0}{2} \left[1 + \frac{\cos\left(\frac{\pi}{3} + \varphi\right)}{2\sqrt{1+Q^2}} \right]; \\
 I_{OVD4} &= \frac{1}{2\pi} \int_{2/3\pi}^{5\pi/3} i_0 d\omega t = \frac{I_0}{2} \left[1 + \frac{\sin\left(\frac{\pi}{6} + \varphi\right)}{2\sqrt{1+Q^2}} \right].
 \end{aligned}$$

Максимальное обратное напряжение на диодах равно U_m .

Первое слагаемое (9) свидетельствует о том, что анализируемая СВ обеспечивает равную с однофазной мостовой СВ [4] постоянную составляющую тока в обмотке, а при добротности обмотки не меньшей 6 и равную мощность тепловых потерь ($K_p = 0,81$).

Исследованная СВ позволяет достаточно просто реализовать реле контроля выпадания фазы напряжения, так как обрыв любого из фазных проводов питания вдвое уменьшает постоянную составляющую МДС в обмотке. При этом режим работы схемы будет эквивалентным режиму работы однофазной СВ с шунтирующим диодом [4]. Соответствующий выбор обмоточных данных реле позволяет при этом обеспечить возврат его подвижной системы.

Полученные выражения средних значений токов в обмотке, диодах и коэффициентов K_p и K_S позволяют рассчитать обмоточные данные ЭММ, выбрать диоды в СВ и определить потребляемую и рассеиваемую мощность.

Проведены расчеты реле РВ-245-248. Испытания реле подтвердили правильность расчетов.

Список литературы

- Бондарь А.Е., Балагула Я.К., Шинков Г.Я. Тиристорные выходные усилители переменного тока для бесконтактных систем управления//Станки и инструмент. 1970. №2. С.10—11.
- Куликов Б.П., Истомин В.Ф. Симисторный усилитель для управления электромагнитами переменного тока//Механизация и автоматизация производства. 1977. №4. С.18—19.
- Рягузов В.А., Петимко И.И. Тиристорные устройства для коммутации аппаратов и машин переменного тока//Станки и инструмент. 1976. №2. С.22—23.
- Сливинская А.Г., Гордон А.В. Электромагниты со встроенным выпрямителем. М.: Энергия, 1970.
- Industrial Control and Automation Components. 1994-1995. TELEMECANIQUE.
- Schaltgerate und Systeme. Der Katalog 1995/96. Niederspannungs-Schaltgerate und-Systeme. SIEMENS.
- Magnetik motor and magnetik contactors series MS-K, S-K. MITSUBISHI.
- LOVATO S.P.A. Componenti e sistemi per automazione. General catalogue. 1993.
- A.c. 21044 СССР. Регулируемый выпрямитель / В.В. Красавин//Открытия. Изобретения. 1970. №34.
- Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. М.-Л.: Энергия, 1964. Ч.1.
- Софронов Ю.В., Свинцов Г.П. Трехфазные схемы выпрямления для электромагнитных механизмов// Электротехническая промышленность. Сер. Аппараты низкого напряжения. 1979. Вып.1(77). С.9—11.

Математические модели нагрева и охлаждения асинхронных двигателей для микропроцессорного реле тепловой защиты

БУГАЕВ Г.А., ЛЕОНТЬЕВ А.Н., ЕРОХИН Е.Ю., ПАВЛОВА Д.В.

Микропроцессорное реле тепловой защиты асинхронного двигателя должно содержать его математическую тепловую модель, отображающую зависимость температуры статорной обмотки от всех основных влияющих факторов. Известно, что двухэкспонентная модель достаточно точно аппроксимирует процессы нагрева и охлаждения двигателя. Проведен обзор экспериментальных данных по двигателям серии 4A. Даны рекомендации по выбору параметров защитной характеристики для двигателей этой серии с высотами оси вращения 180—255 мм.

Проблема совершенствования тепловой защиты низковольтных асинхронных двигателей является весьма актуальной. Ведущие инофирмы уже с середины 80-х годов ввели в свою номенклатуру защитных устройств указанного назначения микропроцессорные реле. Такие реле в принципе способны наилучшим образом решать эти задачи благодаря созданию в них тепловых моделей, адекватно воспроизводящих температуру обмотки защищаемого двигателя во всех возможных режимах его работы. В РФ указанные реле пока не выпускаются. Ниже изложены результаты проведенной работы по созданию тепловой модели такого реле.

Известно, что асинхронный двигатель в тепловом отношении является неоднородным телом, которое можно представить в виде нескольких тел, обладающих различными теплоемкостями и соединенных между собой тепловыми сопротивлениями, причем значения этих сопротивлений зависят от условий охлаждения, т.е. различны при включенном (вращающемся) и при отключенном двигателе. Соответственно этому кривые тепловых переходных процессов будут отображаться суммой экспонент с различными постоянными времени, а качественный характер суммарной кривой должен меняться как при изменении нагрузки, так и при изменении состояния двигателя.

Практически принято [1—3] при моделировании процессов нагрева-охлаждения асинхронного двигателя для целей его тепловой защиты учитывать две постоянные времени, относящиеся к стали статора и меди его обмотки. Исходя из этого допущения и приняв, что установившееся превышение температуры нагрева обмотки статора пропорционально квадрату протекающего через нее тока, процесс нагрева двигателя при нулевом начальном превышении температуры представляют выражением [4]:

$$\Theta = \Theta_{\text{устн}} n^2 \left[K \left(1 - e^{-\frac{1}{T_{1\text{наг}}}} \right) + (1 - K) \left(1 - e^{-\frac{1}{T_{2\text{наг}}}} \right) \right], \quad (1)$$

где Θ — текущее превышение температуры обмотки; $\Theta_{\text{устн}}$ — установившееся превышение температуры обмотки при номинальном токе; $n = I/I_n$ — кратность тока двигателя к номинальному; $T_{1\text{наг}}$ — постоянная времени стали статора при нагреве (большая постоянная); $T_{2\text{наг}}$ — постоянная времени нагрева меди обмотки при нагреве (малая постоянная); K — коэффициент, учитывающий наличие составляющей превышения температуры стали в превышении температуры обмотки при нагреве.

Выражение (1) положено в основу построения тепловой математической модели обмотки асинхронного двигателя, представленной формулами:

$$\left. \begin{aligned} \Theta(t) &= \Theta_1(t) + \Theta_2(t); \\ \Theta_1(t) &= \Theta_{\text{устн}} n^2 K \frac{\Delta t}{T_{1\text{наг}}} + \left(1 - \frac{\Delta t}{T_{1\text{наг}}} \right) \Theta_1(t - \Delta t); \\ \Theta_2(t) &= \Theta_{\text{устн}} n^2 (1 - K) \frac{\Delta t}{T_{2\text{наг}}} + \left(1 - \frac{\Delta t}{T_{2\text{наг}}} \right) \Theta_2(t - \Delta t), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где Δt — шаг дискретизации по времени; $\Theta(t)$ — превышение температуры обмотки на текущем шаге дискретизации; $\Theta_1(t)$, $\Theta_1(t - \Delta t)$ — составляющие, учитывающие нагрев стали, на текущем и предыдущем шагах дискретизации; $\Theta_2(t)$, $\Theta_2(t - \Delta t)$ — составляющие, учитывающие нагрев обмотки протекающим током, на текущем и предыдущем шагах дискретизации.

Исходя из приведенных рекуррентных формул (2), можно вывести аналог выражения (1) для произвольных начальных значений составляющих превышения температуры Θ_1 и Θ_2 :

$$\Theta = \Theta_{10} e^{-\frac{1}{T_{1\text{наг}}}} + \Theta_{20} e^{-\frac{1}{T_{2\text{наг}}}} + \\ + \Theta_{\text{устн}} n^2 \left[K \left(1 - e^{-\frac{1}{T_{1\text{наг}}}} \right) + (1 - K) \left(1 - e^{-\frac{1}{T_{2\text{наг}}}} \right) \right], \quad (3)$$

где Θ_{10} — начальное превышение температуры статора; Θ_{20} — начальное превышение температуры обмотки над температурой статора.

Выражение (3) может, в частности, использоваться и для моделирования процесса охлаждения отключенного двигателя ($n = 0$); при этом оно принимает вид:

$$\Theta = \Theta_{10} e^{-\frac{1}{T_{1\text{охл}}}} + \Theta_{20} e^{-\frac{1}{T_{2\text{охл}}}}, \quad (4)$$

где $T_{1\text{охл}}$ — постоянная времени стали статора при охлаждении; $T_{2\text{охл}}$ — постоянная времени меди обмотки при охлаждении.

Строго говоря, предположение о пропорциональности превышения температуры квадрату тока допустимо считать справедливым только для превышения температуры обмотки относительно температуры стали статора. Реально существующее превышение температуры обмотки равно сумме превышений ее температуры над температурой стали статора и превышения температуры стали над температурой окружающей среды. Превышение температуры стали обусловлено двумя факторами: тепловыми потерями непосредственно в стали статора и теплом, передаваемым стали обмоткой. Потери в стали статора зависят от индукции и не пропорциональны квадрату тока обмотки, что делает зависимым коэффициент K от кратности тока n и обуславливает отклонения превышения температуры обмотки от пропорциональности квадрату протекающего в ней тока.

Кроме того, приведенные выше выражения не учитывают зависимости нагрева обмотки от приложенного напряжения, обусловленной изменением потерь в стали и превышения ее температуры над температурой среды.

При работе реле с датчиком температуры, установленным на стали статора, благодаря наличию информации о превышении температуры стали, выражения (2) упрощаются и принимают вид

$$\begin{aligned} \tau(t) &= \tau_1(t) + \theta_2(t); \\ \theta_2(t) &= (1 - K)\Theta_{\text{устн}} n^2 \frac{\Delta t}{T_{2\text{наг}}} + \left(1 - \frac{\Delta t}{T_{2\text{наг}}}\right) \theta_2(t - \Delta t), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\tau(t)$ — абсолютная температура обмотки на

текущем шаге дискретизации; $\tau_1(t)$ — абсолютная температура стали статора, полученная от датчика температуры на текущем шаге дискретизации.

В данном случае контролируется абсолютная температура обмотки. Параметры K и $T_{2\text{наг}}$, входящие в выражения (5), как и ранее, должны быть выбраны, исходя из имеющихся экспериментальных данных.

Диапазон возможных значений токов асинхронного двигателя от номинального тока до пускового можно подразделить на следующие три области:

- 1) область токов перегрузки (примерно до 2–2,5-кратного тока к номинальному);
- 2) область пусковых токов (от 5,0 до 7,5-кратного для разных типоисполнений двигателей);
- 3) переходная область (промежуточная между 1) и 2)).

При расчете защитных характеристик реле использовалась публикация МЭК по защите врашающихся электрических машин [5], где приведены рекомендуемые нормы длительно и кратковременно допустимых температур в зависимости от классов изоляции, скорости возрастания температуры и категорий по уровню защищенности.

Задаточная характеристика должна содержать участок зависимости $t(n)$ для области значений $n \leq 2,5$ (т.е. при перегрузках), соответствующий кратковременно допустимой температуре при ее медленном нарастании, и участок для $5,0 \leq n \leq 7,5$ (т.е. в области пусковых токов двигателя), соответствующий предельной быстро нарастающей температуре. Промежуточная область значений n относится к переходу между вышеуказанными двумя состояниями двигателя, совершающему в течение короткого промежутка времени, вследствие чего характер зависимости $t(n)$ в этой области не имеет практического значения, а тепловая модель должна плавно перенастраиваться с одного участка на другой.

Наличие перечисленных выше допущений, принятых при выводе выражений (1)–(3), позволяет считать последние приемлемыми только в области перегрузки двигателя, где кратность тока не превышает 2,5. Для указанной области с использованием значений постоянных времени и коэффициента K , приведенных в [6], были рассчитаны участки защитной характеристики, соответствующие двигателям с различной высотой оси вращения (ВОВ). Для области пусковых токов был принят иной подход, обеспечивающий для данного случая более достоверные результаты.

В [7] для двигателей серии 4А приведены, наряду с кратностью начального пускового тока k , значения допустимого времени протекания этого тока t_{dk} . Эти значения определены по расчетной скорости нарастания температуры и соответствуют времени достижения температуры для 1-й категории графы "быстро" публикации МЭК [5].

Для удобства обобщенного рассмотрения этих значений они приведены к 6-кратному пусковому току по формуле

$$t_d = \frac{k^2 t_{dk}}{36}, \quad (6)$$

где t_d — допустимое время протекания 6-кратного тока.

На рис.1 показаны значения t_d для двигателей серии 4А основного исполнения со степенью защиты IP23 (защищенное исполнение), и IP44 (закрытое исполнение). Данные рисунка охватывают двигатели с ВОВ 180 мм и выше ($63 \leq I_n \leq 600$ А, номинальная мощность — от 30 до 315 кВт); для двигателей меньших размеров (номиналов) зависимость t_d (ВОВ) имеет более сложный характер, и вопрос выбора уставок реле по допустимому времени протекания пускового тока для указанных двигателей требует специального рассмотрения.

Поскольку информация по значениям t_d у оперативного персонала, как правило, отсутствует, единственным приемлемым решением является выдача рекомендаций по настройке микропроцессорного реле, базирующаяся на заведомо известных данных о высоте оси вращения и степени защиты двигателя. Эти рекомендации должны содержать данные о минимальных для рассматриваемой группы двигателей значениях t_d , гарантирующих сохранность двигателя при пуске. Анализ экспериментальных данных по двигателям серии 4А показывает, что для двигателей с ВОВ=180÷255 мм соответствующее значение t_d равно 20 с, для двигателей защищенного исполнения больших высот оно равно 30 с. Последнее значение t_d приемлемо также и для двигателей закрытого исполнения с ВОВ=280 мм, а для таких двигателей с ВОВ=315 мм оно составляет 40 с и при ВОВ=355 мм — 45 с.

Следовательно, у исполнения разрабатываемого реле, предназначенного для защиты двигателей серии 4А с ВОВ ≥ 180 мм (номинальные токи 63 А и более), целесообразно предусмотреть ступенчатую настройку, соответствующую значениям $t_d = 20; 30; 40; 45$ с.

Участки защитных характеристик, соответствующие области пусковых токов, где процесс нагрева обмотки имеет адиабатический характер,

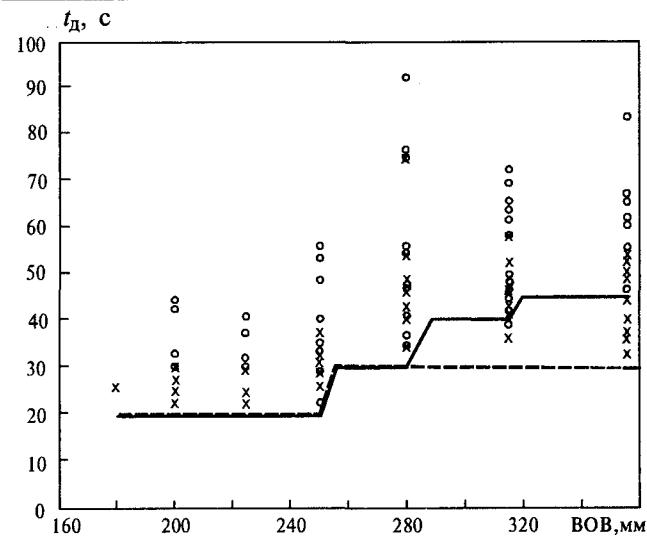


Рис.1. Значение t_d для двигателей:
х — защищенного исполнения (4АН); о — закрытого исполнения (4А)

были рассчитаны по формуле

$$t(n) = \frac{36t_d}{n^2},$$

аналогичной формуле (6), с использованием представленных выше выбранных значений t_d .

Участки защитной характеристики, соответствующие области перегрузок ($1 < n \leq 2,5$) и области пусковых токов ($5 \leq n \leq 7,5$), сопряжены кривой, построенной при непрерывном изменении в промежуточной области параметров $\Theta_{\text{доп}}$ и K .

На основании полученных результатов расчетов построены соответствующие защитные характеристики, показанные на рис.2.

При повторно-кратковременном режиме работы двигателя периоды его включенного состояния чередуются с паузами, во время которых происходит охлаждение отключенного двигателя. Микропроцессорное реле, оставаясь включенным, должно при этом в своей тепловой модели воспроизводить изменение превышения температуры обмотки от начального его значения в момент отключения двигателя в соответствии с выражением (4). Для каждой из защитных характеристик 1—4 в качестве $T_{\text{1охл}}$ должны приниматься наибольшие значения (300, 340, 385 и 440 мин) для соответствующего ряда двигателей, чтобы охватить наиболее инерционные по остыванию двигатели. Параметр $T_{\text{2охл}}$, исходя из имеющихся экспериментальных данных, принимается таким же, как и при нагреве.

При наличии датчика температуры стали параметр T_1 в расчете не используется, T_2 сохраняется неизменным и достигается значительно

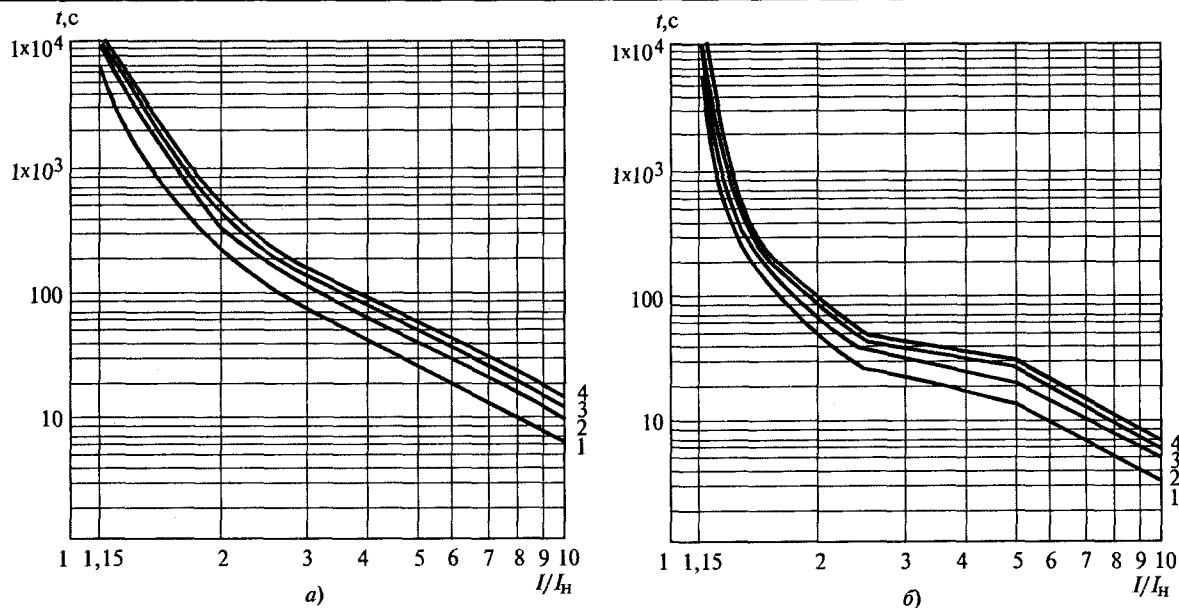


Рис.2. Защитные характеристики микропроцессорного реле:
а — с холодного состояния (1, 2, 3, 4); б — с нагретого номинальным током состояния (1, 2, 3, 4)

более высокая точность моделирования.

Если при отключении двигателя одновременно отключается и реле, то необходимо, чтобы содержащееся в нем устройство сохранения состояния воспроизводило процесс охлаждения двигателя при отсутствии питания реле.

Следует оговориться, что к началу данной работы авторы располагали сведениями по тепловым параметрам двигателей только серии 4А, полученным путем экспериментальных исследований, проведенных во ВНИПТИЭМ [6]. Поэтому полученные результаты применимы непосредственно к этой сейчас уже снятой с производства серии двигателей. В настоящее время на кафедре электромеханики МЭИ под руководством проф. В.Я.Беспалова рассчитываются параметры тепловой модели двигателей серии 5А, что позволит обеспечить защиту указанных современных двигателей.

Результаты данной работы использованы при разработке реле типа РЗДМ-160, предназначенного для защиты асинхронных двигателей с номинальными токами от 64 до 160 А. В настоящее время подготовка к серийному производству этого реле ведется на ОАО "Чебоксарский электроаппаратный завод". В последующем планируетсявести исполнения указанного реле, рассчитанные на защиту двигателей с номинальными токами до 630 А.

Список литературы

1. Вирт В. Применение микропроцессорной техники для защиты двигателей низкого напряжения// Electrotechische Zeitschrift "A". 1982. Т. 103. № 5. С.243—248.
2. Бирг А.Н., Дмитриев В.Н., Надель Л.А. Реле защиты двигателя на базе однокристальной микро-ЭВМ КМ1813ВЕ1//Материалы семинара "Микропроцессоры и средства вычислительной техники в новых разработках". Чебоксары, 1989.
3. Егоров Е.Г., Генин В.С., Михайлов Н.М., Яковлев С.К. Микропроцессорное реле тепловой защиты асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором// Электротехника. №1. 1997, С.53—55.
4. Отчет о научно-исследовательской работе. Разработка технических требований к аппаратам тепловой защиты низковольтных асинхронных двигателей серии АИ. Тема Д0281049823. ВАКИ.520075.195. Владимир, 1983.
5. IEC Standard. Rotating electrical machines. Part 11: Built-in thermal protection. Chapter 1: Rules for protection of rotating electrical machines. 1978. Publication 34—11.
6. Разработка рекомендаций по согласованию характеристик тепловых реле серии РЗД с двигателями серии 4А. Определение постоянных времени нагревания и охлаждения двигателей. Протокол испытаний ВАКИ 520203.017. ВНИПТИЭМ, 1983.
7. РД 16297-86. Выбор аппаратов и устройств тепловой защиты электродвигателей серий 4А и 4АМ основного исполнения. Владимир: ВНИПТИЭМ.

Автоматизированный типовой комплекс оборудования для поспеуборочной переработки хмеля

ВИНОГРАДОВ А.А., ГАВРИЛОВ А.Н., СКВОРЦОВ Ю.Г., СТЕПАНОВ О.Н., ШУМОВ А.И.

Рассмотрены вопросы автоматизации поспеуборочной переработки хмеля. Описан типовой комплекс технических средств по автоматизации технологического процесса поспеуборочной переработки хмеля, включающего в себя как традиционные операции, так и ряд новейших: доочистка, сортировка, прессование в малые балоты, упаковка хмеля в инертную среду, пневмотранспортирование хмеля между операциями.

Основной целью современных технологий поспеуборочной обработки хмеля, является сохранение максимума ценных веществ свежеубранного хмеля и получения различных полноценных хмелепродуктов для эффективного использования их в процессе приготовления пива. Эту задачу необходимо осуществить при минимальных затратах топлива, электроэнергии, рабочей силы, при этом технологические схемы переработки хмеля должны быть не только экономичными, но и качественно эффективными. Анализ существующего оборудования по переработке хмеля в Чувашской Республике (производящей до 80% российского хмеля) показывает необходимость оснащения этого производства современным оборудованием.

В рамках федеральной целевой программы "Хмель России" на 1996–2000 гг. по поручению Минсельхозпрода Чувашской Республики в ОАО

"ВНИИР" и НИПТИХ (г. Цивильск) в течение 1996-1998 гг. проводились работы по разработке производственных систем по переработке хмеля. Разработаны производственные комплексы для хмелефабрик "Цивильская" (рис.1), "Вурнарская", "Октябрьская".

Опытная эксплуатация в течение 1996–1999 гг. комплекса на хмелефабрике "Цивильская" позволила испытать отдельные элементы будущего типового комплекса и сделать положительные выводы.

Испытано следующее оборудование (рис.2): машина очистки и сортировки (1); пресс гидравлический (2); машина вакуумной упаковки (3); пневмотранспорт (4); конвейер горизонтальный и межэтажный транспорт (5 и 6); центральная система управления (7).

Минсельхозпрод Чувашской Республики, ОАО "ВНИИР" и НИПТИХ (г. Цивильск) по резуль-

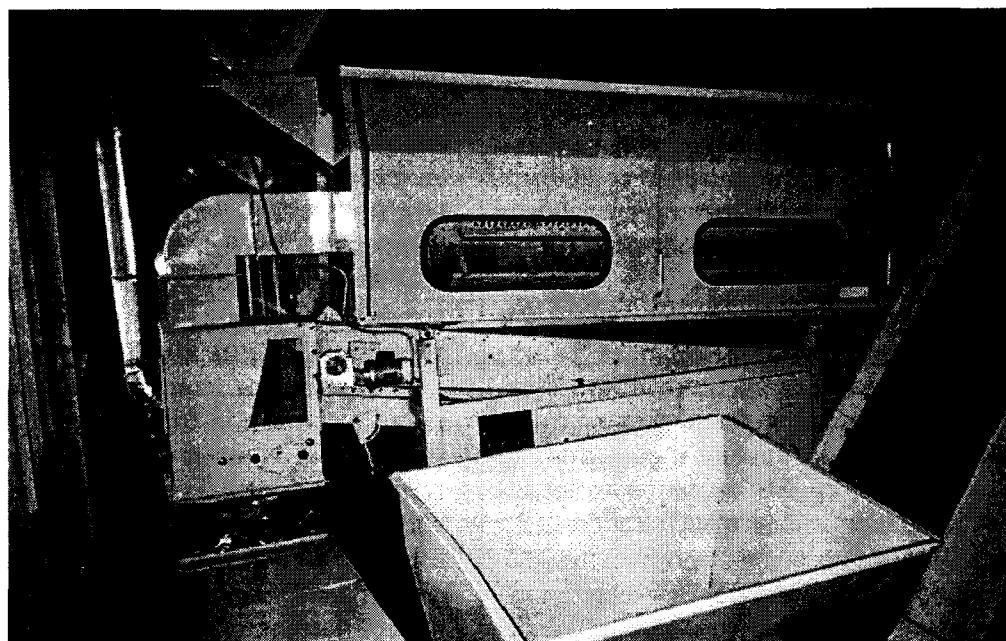


Рис.1. Фрагмент комплекса оборудования по переработке хмеля

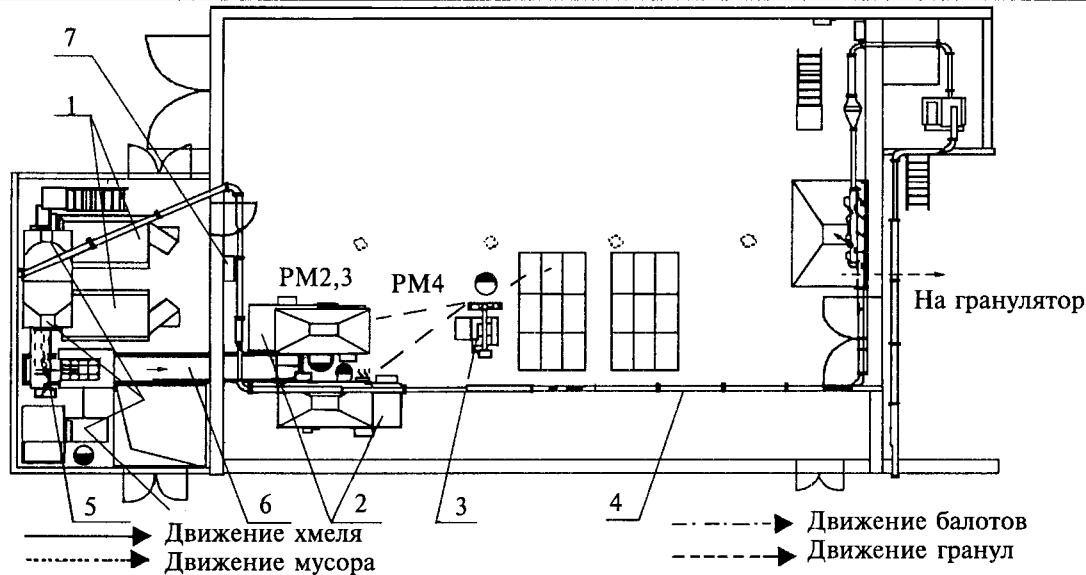


Рис.2. Планировка комплекса оборудования по переработке хмеля установленного на хмелефабрике “Цивильская”

татам обкатки комплекса оборудования на хмелефабрике "Цивильская" сделали вывод о возможности создания типового комплекса оборудования по переработке хмеля непрерывного действия на базе оборудования, разработанного и изготовленного в ОАО "ВНИИР" с охватом всей технологии послеуборочной переработки хмеля в балоты и гранулы. Для переработки сульфитированного хмеля в прессованный или гранулированный предлагается типовой комплекс на основе следующего оборудования: стандартного; выпускаемого серийно; спроектированного и изготовленного в ОАО "ВНИИР"; вновь разрабатываемого в ОАО "ВНИИР" по контрактам с Минсельхозпродом Чувашской Республики. Для размещения такого комплекса не требуется больших капитальных затрат в строительстве. Он может быть размещен в одноэтажном здании высотой помещения не более 5 м и площадью от 200 м².

Структурные схемы технологии переработки сульфитированного хмеля по исполнениям комплекса представлены на рис.3.

Состав комплекса по количеству одноименного технологического оборудования (кратность) определяет его производительность. Данные в табл.1 приведены для комплекса кратности 1×1 (одна машина сортировки и один пресс).

Технические характеристики типового комплекса (рис.4,5) представлены в табл.2.

Типовой комплекс позволяет производить следующие хмелепродукты: прессованные и гранулы одновременно; гранулы (исполнение 01); балоты прессованные (исполнение 02).

Хмель высокого качества (ручная сборка и без

содержания посторонних нехмелевых примесей) минуя машину очистки 4 загружается в бункер ковшового наклонного конвейера 3 для транспортировки его в бункер пресса гидравлического 5. Сорный хмель принимается в бункер наклонного ковшового конвейера 2 для транспортировки его в бункер-накопитель машины очистки 4, которая разделяет шишки и лепестки между собой и очищает их нехмелевых примесей (мусора). Сортировка производится по фракциям: лепестки; шишки; крупные стебли, гроздья хмеля, крупные листья, крючки со шпагатом; тяжелая мелкая фракция мусора и стеблей. Крупные стебли, гроздья хмеля, крупные листья, крючки со шпагатом выпадают на полоз машины очистки и могут непосредственно во время работы машины вручную отделены от шишек хмеля или собраны в полог для последующей очистки или утилизации. Тяжелая мелкая фракция мусора и утечки хмеля (стебли и небольшое количество лепестков и шишек хмеля, увлекаемых мусором) транспортируются горизонтальным конвейером в тару для мусора. Эта фракция после каждой смены дополнительно загружается в бункер машины очистки и производится доочистка утечек хмеля от мусора. Лепестки хмеля из устройства очистки потоком воздуха транспортируются через батарейный циклон, шnek и шлюзовой затвор в приемный бункер молотковой дробилки 7. Поток воздуха очищается от пыли фильтром 15. После дробилки молотый хмель по наклонному конвейеру поступает в гранулятор 9. Готовые гранулы охлаждаются на сетчатом конвейере 10 и потом по наклонному конвейеру 11

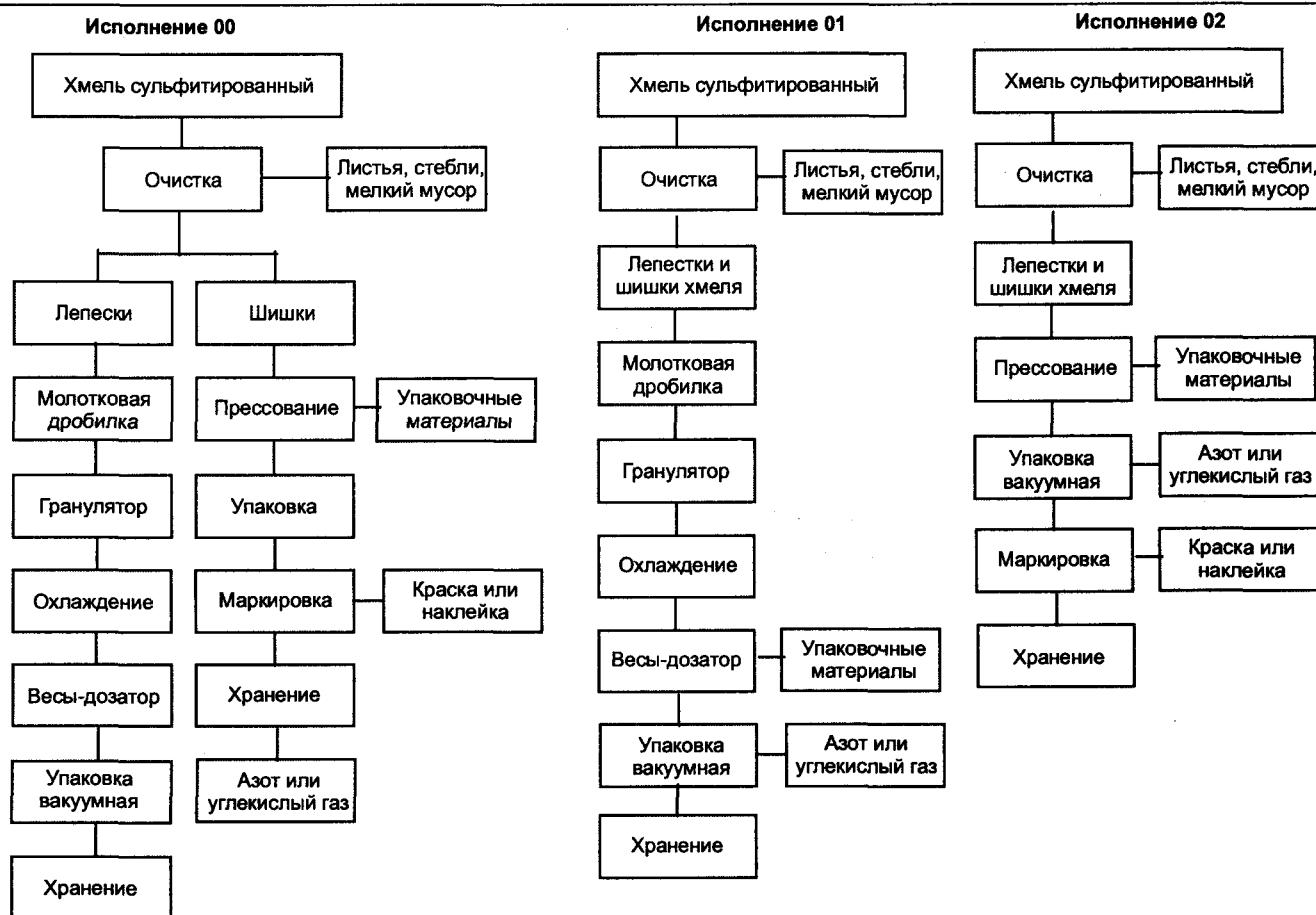


Рис.3. Структурная схема технологии переработки хмеля на типовом комплексе по исполнениям 00, 01, 02

Таблица 1
Состав типового комплекса

Наименование	Исполнение			Разработка
	00	01	02	
Весы напольные	1	1	1	
Конвейер ковшовый наклонный	1	2	1	ВНИИР
Конвейер ковшовый наклонный	1	2	1	ВНИИР
Машина очистки хмеля	1	2	1	ВНИИР
Пресс гидравлический	1	2	1	ВНИИР
Циклон батарейный	1	1	—	Серийный
Дробилка молотковая	1	1	—	Серийный
Конвейер наклонный	1	1	—	ВНИИР
Гранулятор	1	—	—	Серийный
Гранулятор	—	1	—	Серийный
Конвейер сетчатый	1	1	—	ВНИИР
Конвейер ковшовый наклонный	1	1	—	ВНИИР
Дозатор	1	1	—	ВНИИР
Конвейер горизонтальный	1	1	—	ВНИИР
Машина вакуумной упаковки	1	1	1	ВНИИР
Фильтр	1	1	—	Серийный
Вентилятор	1	1	—	Серийный
Шкаф управления	1	1	1	ВНИИР
Доочистка	1	1	—	ВНИИР
Машина зашивочная	1	1	—	Серийный

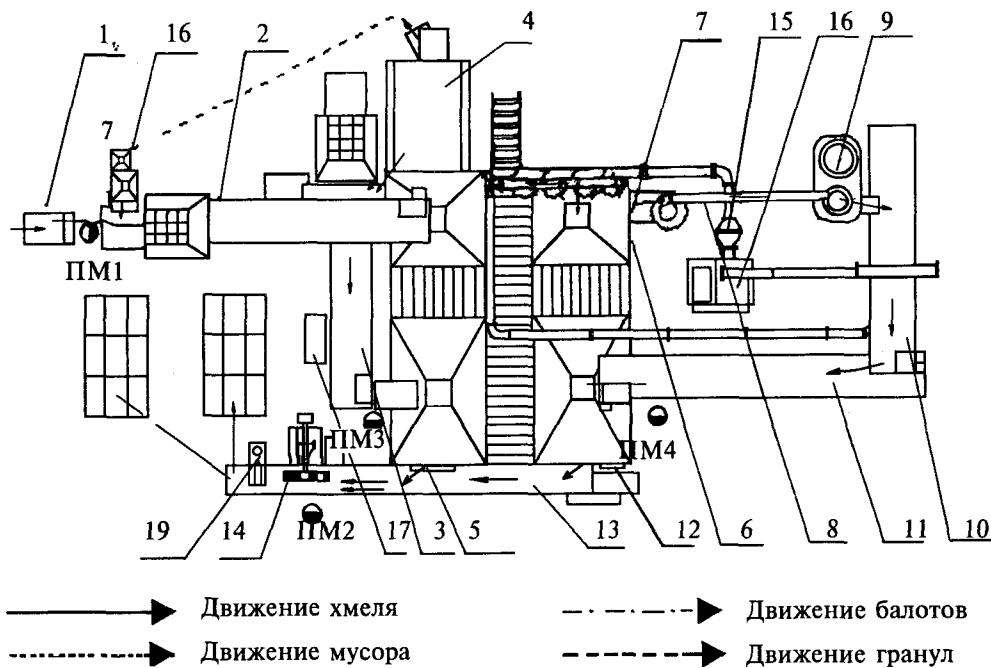


Рис.4. Планировка типового комплекса оборудования по переработке хмеля (кратность 1×1). Вид сверху

подаются в бункер дозатора 12 для расфасовки. Фасовку можно производить в джутовые мешки для ближайшей реализации и в специальные пакеты с последующей консервацией в среде инертного или углекислого газов для длительного хранения.

Шишки хмеля после машины очистки горизонтальным конвейером подаются на наклонный конвейер 3, который поднимает их в бункер гидравлического пресса 5. Пресс гидравлический прессует хмель в балоты с габаритными размерами 200×400×800 мм массой 26—40 кг. Балоты

упаковываются в полиэтиленовую пленку с джутовым мешком снаружи или в специальный пакет с джутовым мешком для последующей консервации. Открытые пакеты и балоты по горизонтальному конвейеру 13 поступают к машине вакуумной упаковки 14, которая производит вакуумную упаковку в среде инертного газа (для длительного хранения) и упаковку без создания вакуума. Машина упаковки 14 имеет возможность упаковывать методом термоимпульсной сварки: балоты по ширине 400 мм; гранулы в пакеты и мешки по ширине сварного шва от 200 до 700 мм.

Таблица 2

Наименование	Исполнение		
	00	01	02
Производительность, т/смена:			
— гранулы	1,0	3,0	—
— балоты	2,0	—	3,0
Габаритные размеры балота, мм	200×400×800		
Масса балота, кг	26—40	26—40	26—40
Остаточное давление воздуха в вакуумной упаковке, кПа	8	8	8
Давление азота в упаковке, кПа (max)	200	200	200
Длина свариваемого шва, мм (max)	750	750	750
Степень очистки хмеля от примесей, %	96—98	96—98	96—98
Питание трехфазное переменного тока 380 В			
Потребляемая мощность, кВт	120	130	40
Занимаемая площадь, м ²	175	215	92,5

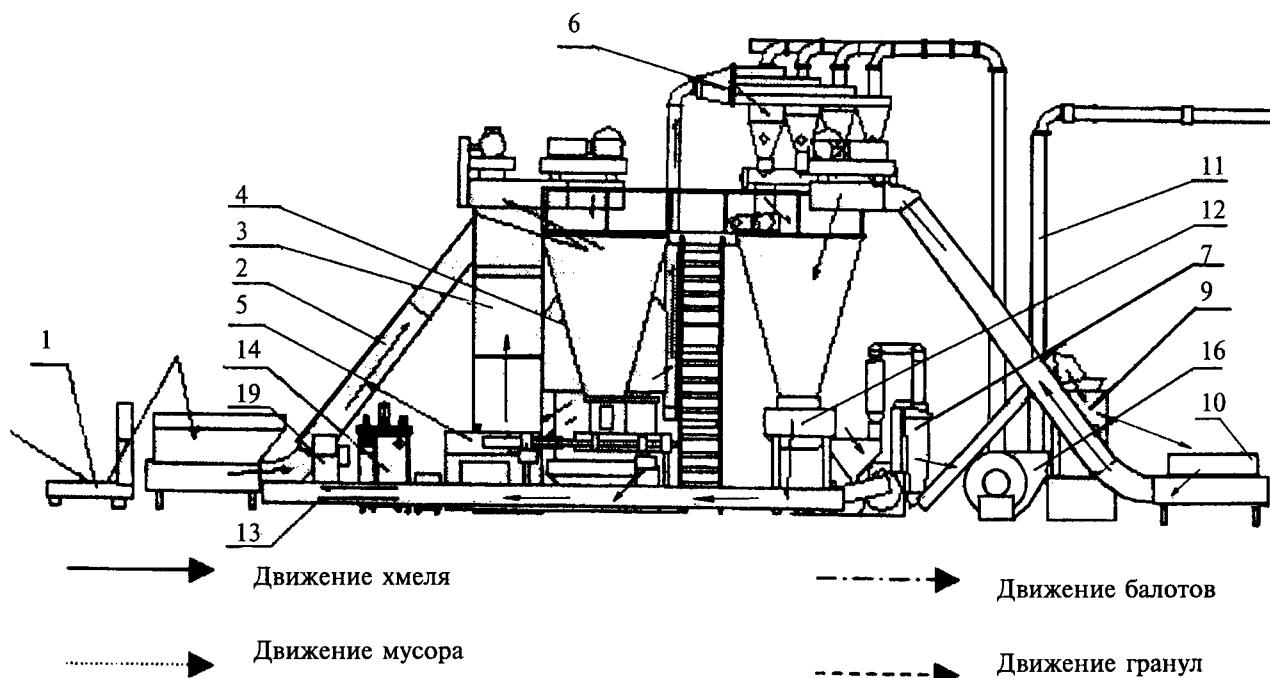


Рис.5. Планировка типового комплекса оборудования по переработке хмеля (кратность 1×1). Вид сбоку

После упаковки пакеты и балоты подаются конвейером 13 к поддонам, на которые вручную складируются для отгрузки потребителям и на склад готовой продукции.

В описанном комплексе применение ручного труда минимальное. Большинство операций механизированы и автоматизированы. Управление работой всех механизмов осуществляется с одного пульта дистанционного управления.

"Ядром" типового комплекса являются: 1) машины очистки и сортировки; 2) прессы гидравлические; 3) машина вакуумной упаковки. В состав комплекса через его транспортные коммуникации могут быть введены линия гранулирования и камеры сульфитации различных конструкций и степени автоматизации как отечественного (в том числе вновь разрабатываемые), так и импортного производства. Главной особеннос-

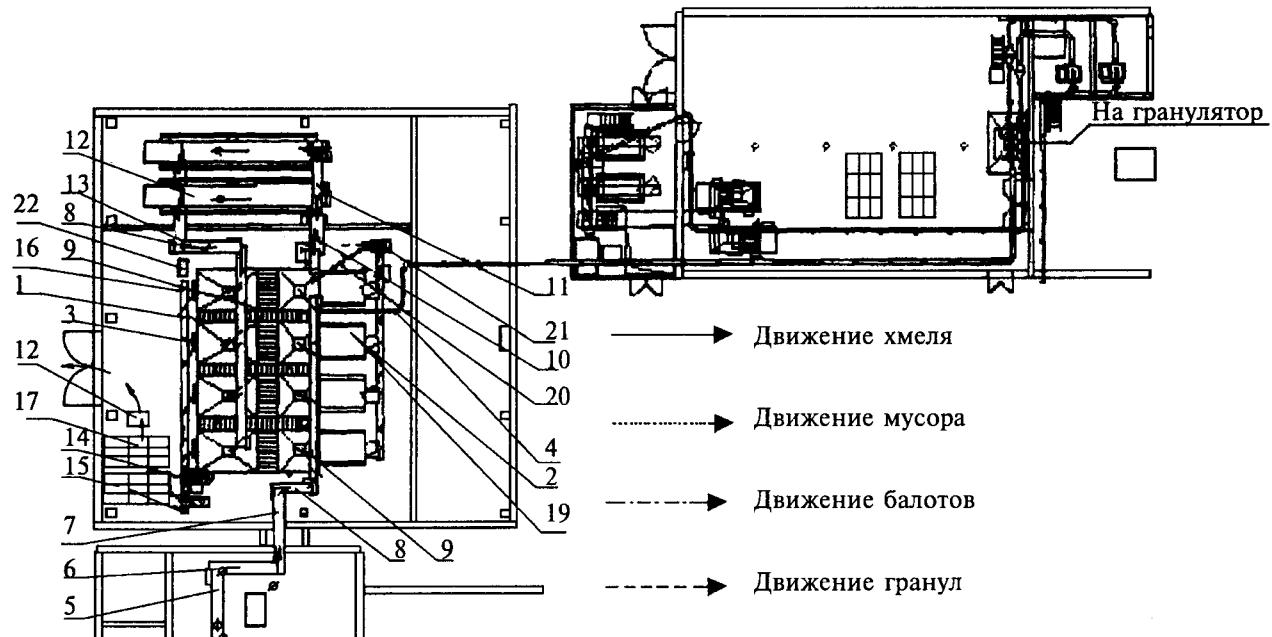


Рис.6. Проект планировки комплекса оборудования по переработке хмеля мощностью 1000 т в сезон (на основе типового проекта кратностью 4×4)

Таблица 3

Состав проекта комплекса

№	Наименование	Кол.	Разработка
1	Металлоконструкция	1	ВНИИР
2	Машина очистки хмеля	4	ВНИИР
3	Пресс гидравлический	4	ВНИИР
4	Пневмотранспорт	1	ВНИИР
5	Конвейер напольный горизонтальный	1	ВНИИР
6	Склиз (связь между этажами)	1	
7	Конвейер горизонтальный	1	ВНИИР
8	Конвейер ковшовый наклонный	2	ВНИИР
9	Конвейер распределительный	2	ВНИИР
10	Конвейер ковшовый наклонный	1	ВНИИР
11	Конвейер распределительный	1	ВНИИР
12	Камера сульфитации	2	ВНИИР
13	Конвейер горизонтальный	1	ВНИИР
14	Машина вакуумной упаковки	1	ВНИИР
15	Машина зашивочная	1	Серийный
16	Конвейер горизонтальный	1	ВНИИР
17	Поддоны готовой продукции	2	
18	Весы напольные	1	
19	Конвейер горизонтальный	1	ВНИИР
20	Шнек	1	
21	Машина раздробления гроздьев		ВНИИР
22	Система управления	1	ВНИИР

тью "ядра" комплекса является его напольное конструктивное решение, не требующее значительных капитальных затрат на производственные помещения. Этими сооружениями могут быть неотапливаемые эллинги, металлические постройки и пр., так как работа оборудования предполагается сезонной. Потенциальный заказчик, определившись с номенклатурой конечной продукции (прессованный в балоты хмель, гранулированный хмель или и то и другое), с требуемой производительностью оборудования и своими производственными площадями, может достаточно быстро получить типовое решение его задачи.

ОАО "ВНИИР" по контракту с Минсельхозпрородом Чувашской республики в 1997 г. был разработан проект цеха по переработке хмеля в балоты и гранулы мощностью 1000 т продукции в сезон (90 дней по 10 ч смена). Цех представляет собой типовой комплекс основного исполнения кратности 4×4 (машины сортировки и пресса) с двумя вновь разрабатываемыми автоматическими камерами сульфитации и ранее установленной линией гранулирования фирмы "NAGEMA". Состав проекта комплекса оборудования по переработке хмеля мощностью 1000 т в сезон на хмелефабрике "Цивильская" представлен в табл.3.

Данное решение характерно для крупного хмелеперерабатывающего центра, каким планирует-

ся хмелефабрика " Цивильская ". Заказчикам районного масштаба с небольшой потребностью в производительности до 200 т/сезон и ограниченной номенклатурой конечной продукции (хмель прессованный в балоты), какими в настоящее время являются большинство остальных хмеле-перерабатывающих пунктов Чувашской Республики, а также Республики Марий Эл и пр., рекомендуются типовые решения комплекса исполнения -02 кратностью от 2×2 и ниже.

ОАО "ВНИИР" готово к реализации любого из описанных выше комплексов под "ключ". В заключение хотелось бы отметить, что внедрение такой техники позволит на сельскохозяйственных предприятиях России поддерживать качество производимого хмеля на международном уровне — низкая сорность (2—3%), регулируемое содержание альфа-кислоты, длительная сохранность ценных веществ в продукте в удобной современной упаковке.

Список литературы

1. А.с. 1401037. Способ послеуборочной обработки хмеля/К.П. Майоров.
2. Прогрессивная технология послеуборочной переработки хмеля. Методические рекомендации по ее внедрению. Житомир, 1984.
3. А.с. 1271871 А1. Установка для сульфитации хмеля/ И. Г. Рейтман, Г. К. Заграфов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ПУБЛИКУЕМЫХ СТАТЕЙ

Бочкарев Вадим Наркисович — генеральный директор ОАО "ВНИИР". В 1961 г. окончил энергетический факультет Уральского политехнического института им. С. М. Кирова в г. Свердловске. Кандидат техн. наук, заслуженный изобретатель РФ, Заслуженный изобретатель Чувашской Республики, декан филиала электроэнергетического факультета ЧувГУ, доцент кафедры ТОЭ, вице-президент Академии электротехнических наук Чувашской Республики.

Сагарадзе Евгений Владимирович — заместитель генерального директора по научной работе ОАО "ВНИИР". Окончил в 1961 г. энергетический факультет Уральского политехнического института им. С.М. Кирова.

Гаврилов Александр Николаевич — заведующий отделом специального технологического оборудования ОАО "ВНИИР". В 1977 г. окончил электротехнический факультет ЧувГУ.

Генин Валерий Семенович — заведующий отделом ОАО " ВНИИР". Окончил электротехнический факультет ЧувГУ. Защитил кандидатскую диссертацию по теме: "Усовершенствование методики и аппаратуры для испытаний магнитных пускателей на коммутационную износостойкость" в 1987 г. в МЭИ.

Горчаков Валентин Викторович — заведующий отделом "Автоматизированный электропривод" ОАО "ВНИИР". Окончил факультет электрификации промышленных предприятий и установок Ивановского энергетического института им. В. И. Ленина в 1960 г. Защитил кандидатскую диссертацию по теме: "Исследование и разработка преобразователей для реверсивных асинхронных электроприводов на базе двигателей с фазным ротором" в 1977 г.

Альтшуллер Маркс Иосифович — заведующий лабораторией отдела электропривода ОАО "ВНИИР". В 1957 г. окончил электротехнический факультет Горьковского политехнического института. В 1971 г. защитил кандидатскую диссертацию по теме: "Электропривод постоянного тока с симисторным возбудителем".

Аракелян Александр Карапетович — профессор кафедры САУЭП ЧувГУ. Окончил энергетический

факультет Азербайджанского индустриального института им. М. Азизбекова в 1953 г. Защитил докторскую диссертацию по теме: "Развитие теории электромеханических систем с синхронным двигателем, питаемым от преобразователя с зависимым инвертором тока" в 1999 г.

Арзамасов Владислав Леонидович — старший научный сотрудник ОАО "ВНИИР", аспирант ЧувГУ. Окончил в 1981 г. факультет электрификации и автоматизации промышленности ЧувГУ.

Афанасьев Александр Александрович — заведующий кафедрой управления и информатики в технических системах ЧувГУ. Окончил электромеханический факультет МЭИ в 1962 г. Защитил докторскую диссертацию по теме: "Совместная работа синхронной машины с преобразователем частоты. Теория и приложения" в МЭИ в 1991 г. Действительный член Нью-Йоркской Академии наук.

Бабак Александр Георгиевич — заместитель директора по научной работе НИИавтоэлектроники. Окончил в 1974 г. МАИ по специальности инженер-электромеханик. В 1981г. защитил кандидатскую диссертацию по теме: "Развитие теории и методов расчета регулируемых вентильных электродвигателей".

Блохинцев Александр Анатольевич — научный сотрудник ОАО "ВНИИР". Окончил факультет электрификации и автоматизации промышленности ЧувГУ в 1994 г.

Борисов Леонид Филиппович — заведующий лабораторией ОАО "ВНИИР". Окончил кафедру электрических аппаратов электротехнического факультета ЧувГУ в 1972 г. Защитил кандидатскую диссертацию по теме: "Комплексная защита генераторов автономных энергосистем с самоконтролем исправности" в 1991 г.

Бугаев Георгий Андреевич — старший научный сотрудник отдела низковольтного аппаратостроения ОАО "ВНИИР". Окончил кафедру "Электрические станции, сети и системы" Новочеркасского политехнического института в 1953 г. Защитил кандидатскую диссертацию по теме: "К расчету, исследованию и разработке электромагнитных аппаратов автоматики" в 1980 г.

Виноградов Андрей Александрович — заведующий лабораторией отдела специального технологического оборудования ОАО "ВНИИР". В 1983 г. окончил электротехнический факультет ЧувГУ.

Вишневский Владимир Ильич — ведущий научный сотрудник ОАО "ВНИИР". В 1988 г. окончил электротехнический факультет ЧувГУ.

Донской Николай Васильевич — заслуженный изобретатель Российской Федерации и Чувашской Республики, ведущий научный сотрудник ОАО "ВНИИР", доцент кафедры электропривода электротехнического факультета ЧувГУ. В 1960 г. окончил электроэнергетический факультет Ивановского энергетического института. В 1975 г. защитил кандидатскую диссертацию по теме "Исследование влияния неполной управляемости вентиляй на устойчивость замкнутых систем автоматического регулирования с управляемыми вентилями".

Евсеев Александр Николаевич — главный энергетик АО "Татнефть". В 1976 г. окончил электротехнический факультет Куйбышевского политехнического института. В 1995 г. защитил кандидатскую диссертацию в области электроснабжения нефтедобывающих комплексов.

Ерохин Евгений Юрьевич — сотрудник отдела низковольтного аппаратостроения ОАО "ВНИИР", аспирант кафедры управления и информатики в технических системах ЧувГУ. Окончил факультет радиоэлектроники и информатики ЧувГУ в 1997 г.

Ефимов Евгений Борисович — аспирант ЧувГУ. Окончил электроэнергетический факультет ЧувГУ в 1998 г.

Законьшек Янез (Zakonjsek Janes) — ведущий специалист фирмы "ABB Automation Products AB" (г. Вастерас, Швеция). В 1977 г. окончил с магистрской степенью энергетический факультет Люблянского университета (Словения).

Залятов Марат Марсович — начальник управления ЦБПО ЭПУ АО "Татнефть", г. Альметьевск. Окончил Московский нефтяной институт по специальности технология и комплексная автоматизация разработки нефти и газовых месторождений в 1986 г.

Иванов Александр Григорьевич — заведующий лабораторией отдела электропривода ОАО "ВНИИР", профессор кафедры "Промышленная

электроника" ЧувГУ, доктор технических наук; член-корреспондент АЭН Чувашской республики, заслуженный изобретатель России и Чувашской республики. В 1960 г. окончил электромеханический факультет Ивановского энергетического института. В 1998 г. защитил докторскую диссертацию по теме: "Создание и исследование электромеханических систем с управляемыми выпрямителями для машиностроения и нефтедобычи".

Кирюшин Владимир Васильевич — заведующий лабораторией ОАО "ВНИИР". Окончил Казанский авиационный институт по специальности "Электронные устройства" в 1964 г.

Лазарев Дмитрий Владимирович — инженер электронщик ОАО "НТЦ Электропривод". Окончил в 1997 г. факультет радиоэлектроники и информатики ЧувГУ.

Леонтьев Александр Николаевич — заведующий лабораторией отдела низковольтного аппаратостроения ОАО "ВНИИР". Окончил электротехнический факультет ЧувГУ в 1986 г.

Лямец Юрий Яковлевич — профессор кафедры ТОЭ ЧувГУ, заслуженный изобретатель РФ. В 1962 г. окончил энергетический факультет Ново-черкасского политехнического института. В 1973 г. защитил в МИИТе кандидатскую диссертацию по теме: "Анализ дискретных процессов в электрических цепях", а в 1994 г. во ВНИИЭ — докторскую диссертацию по теме: "Адаптивные реле: теория и приложение к задачам релейной защиты и автоматики электрических систем".

Малафеев Борис Иванович — заместитель заведующего отделом ОАО "ВНИИР". Окончил ЧувГУ по специальности "Электрические машины и аппараты".

Маслова Маргарита Николаевна — старший научный сотрудник ОАО "ВНИИР". Окончила в 1974 г. электротехнический факультет ЧувГУ.

Михайлов Владимир Васильевич — старший научный сотрудник ОАО "ВНИИР", аспирант ЧувГУ. Окончил в 1975 г. факультет электрификации и автоматизации промышленности ЧувГУ.

Михайлов Николай Михайлович — заведующий лабораторией ОАО "ВНИИР". В 1968 г. окончил электротехнический факультет Волжского филиала МЭИ в г. Чебоксарах. В 1980 г. защитил кандидатскую диссертацию по теме: "Анализ и синтез терморезисторных реле времени".

Нестерин Валерий Алексеевич — профессор ЧувГУ. Окончил в 1964 г. электромеханический факультет МЭИ по специальности "Электрические машины". В 1995 г. защитил докторскую диссертацию по теме: "Оборудование для импульсного намагничивания высокознергетических постоянных магнитов в целях создания нового поколения электрических машин и магнитных систем на их основе".

Никитин Валерий Александрович — заведующий лабораторией защит постоянного тока ОАО "ВНИИР". В 1979 г. окончил ЧувГУ по специальности "Электроснабжение промышленных предприятий".

Никитин Владимир Михайлович — заведующий отделом программируемых средств управления электроприводами ОАО "ВНИИР". Окончил электротехнический факультет Куйбышевского индустриального института им. В. В. Куйбышева в 1960 г. Защитил кандидатскую диссертацию по теме: "Анализ и синтез структур вентильного электропривода постоянного тока" в 1974 г.

Нудельман Года Семенович — главный специалист по релейной защите и автоматике ООО "АББ Реле-Чебоксары (Автоматизация)". Заслуженный изобретатель РФ. Окончил энергетический факультет НПИ в 1960 г. В 1983 г. защитил кандидатскую диссертацию по теме: "Токовая направленная защита нулевой последовательности с повышенной эффективностью функционирования для линий электропередачи высокого напряжения".

Павлова Дарья Владимировна — сотрудница отдела низковольтного аппаратостроения ОАО "ВНИИР". Окончила факультет радиоэлектроники и информатики ЧувГУ в 2000 г.

Работаев Александр Федорович — главный инженер ОАО "ВНИИР". В 1969 г. окончил ЧувГУ по специальности инженер-электромеханик.

Саевич Вадим Леонидович — старший научный сотрудник ОАО "ВНИИР". Окончил факультет электрофикации промышленности ЧувГУ в 1975 г.

Серков Олег Александрович — ведущий научный сотрудник ОАО "ВНИИР". В 1964 г. окончил факультет электрификации и автоматизации промышленности и транспорта МЭИ.

Скворцов Юрий Григорьевич — заведующий лабораторией отдела специального технологического оборудования ОАО "ВНИИР". В 1977 г. окончил машиностроительный факультет ЧувГУ.

Степанов Гельман Николаевич — ведущий научный сотрудник лаборатории защит постоянного тока ОАО "ВНИИР". В 1963 г. окончил МЭИ по специальности "Электроснабжение промышленных предприятий".

Степанов Олег Николаевич — ведущий инженер-конструктор отдела специального технологического оборудования ОАО "ВНИИР". В 1995 г. окончил электротехнический факультет ЧувГУ.

Ушаков Игорь Иванович — старший научный сотрудник ОАО "ВНИИР". Окончил факультет электрификации промышленности ЧувГУ в 1976 г. Заслуженный изобретатель Чувашской республики.

Чаронов Владилен Яковлевич — заведующий кафедрой АлНИ. В 1999 г. защитил докторскую диссертацию по теме: "Автоматизированная система управления электроснабжением нефтегазодобывающих комплексов". Заслуженный энергетик РФ, академик МАНЭБ.

Шепелин Александр Васильевич — старший научный сотрудник ОАО "ВНИИР". Окончил факультет электрификации и автоматизации промышленности ЧувГУ в 1994 г. Кандидатскую диссертацию по теме: "Исследование динамических режимов и разработка САР электроприводов турбомеханизмов, работающих на длинные трубопроводы" защитил в 2000 г..

Шепелин Виталий Федорович — заведующий лабораторией электроприводов переменного тока ОАО "ВНИИР". Окончил факультет электрификации промышленных предприятий и установок Ивановского энергетического института им. В.И. Ленина в 1960 г. Защитил кандидатскую диссертацию по теме: "Исследование двухзонного асинхронно-вентильного каскада с преобразователем частоты со звеном постоянного тока и естественной коммутацией тиристоров" в 1971 г.

Шумов Александр Иванович — ведущий инженер-конструктор отдела специального технологического оборудования ОАО "ВНИИР". В 1996 г. окончил электротехнический факультет ЧувГУ.

Правила оформления рукописей статей в журнале «Электротехника»

1. Статья не должна превышать 12 страниц текста, отпечатанного на машинке или набранного на компьютере через 2 интервала с полями 2—3 см, и иметь не более 5 рисунков.

2. В статье должны быть: постановка задачи, собственно содержание работы, показана достоверность результатов, выводы, рекомендации, в которых в лаконичной форме излагаются результаты работы и предложения автора.

Название статьи должно быть на русском и английском языках.

К статье должна быть приложена аннотация (2—3 предложения) на русском и английском языках.

3. Статья должна сопровождаться письмом автора или организации и сведениями об авторах. Необходимо привести фамилии, имена и отчества всех авторов полностью, домашние адреса с почтовыми индексами, номера домашнего и служебного телефонов, место работы, ученое звание, какой факультет, какого вуза и когда закончен, тему диссертации и год ее защиты. Желательно приложить фотографии авторов.

Желательно, чтобы число авторов не превышало пяти. Фамилии лиц, принимавших участие в работе, можно дать в сноске.

4. Формулы должны быть четко вписаны от руки или набраны на компьютере (крупно) в отдельные строчки (а не в текст). Прописные (заглавные) буквы подчеркиваются карандашом двумя черточками снизу, а строчные (малые) — двумя черточками сверху. 0 (нуль) и цифра 3 (три) поясняются на полях простым карандашом. Индексы показываются простым карандашом.

5. Таблицы не должны быть громоздкими, все наименования необходимо писать без сокращения слов, за исключением единиц измерения. Численные значения величин в таблице, на рисунках и в тексте статьи должны быть в единицах измерения СИ.

6. Чертежи, графики, диаграммы и т.д. вычерчиваются тушью на плотной бумаге или кальке. Возможно изготовление рисунков с помощью компьютера. Условные обозначения на самом рисунке должны быть предельно краткими и общеупотребительными. Расшифровка условных обозначений и подписи к рисункам (не громоздкие) даются на отдельном листе.

Фотографии (в двух экземплярах) должны быть отпечатаны на белой матовой бумаге (размером не менее 9×12 см), изображение должно быть контрастным, с хорошо проработанными деталями. Все обозначения ставятся на одном экземпляре.

7. Список литературы приводится в конце статьи, в порядке последовательности ссылок в тексте. Ссылки на литературу заключаются в квадратные скобки.

Для книг должны быть указаны: фамилия и инициалы всех авторов, название книг, город, издательство, год выпуска. Для журнальной статьи: фамилия и инициалы всех авторов, название статьи, журнала, год издания, номер журнала (том), страницы. Для сборников и продолжающихся изданий: фамилия и инициалы всех авторов конкретной статьи, ее название, название сборника или издания, город, издательство, год, выпуск, страницы.

В список литературы не должны включаться неопубликованные материалы, материалы для служебного пользования, а также малораспространенные издания и материалы, отпечатанные литографическим способом, и т.д.

8. Статью в двух экземплярах следует высыпать в редакцию простой или заказной бандеролю.

9. К статье желательно приложить дискету с текстом статьи.

Редактор отдела О.В. Кунавина
Научный редактор Л.А. Романова

Сдано в набор 18.12.2000. Подписано в печать 29.12.2000. Формат 60×88 1/8

Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Печ. л. 8. Заказ 65

Цена свободная. Тираж 1000 экз. Зарегистрирован Комитетом РФ по печати, регистрационный №01330.

Макет выполнен и отпечатан в ОАО «Электропривод»
107078, Москва, ул. Садовая Спасская, 1/2, стр. 5

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

Александр Григорьевич Иванов



4 января 2001 г. Александру Григорьевичу Иванову, доктору техн. наук, заслуженному изобретателю Российской Федерации и Чувашской Республики, заведующему лабораторией ОАО "ВНИИР", профессору Чувашского госуниверситета, чл.-кор. Академии электротехнических наук Чувашской Республики исполни-

лось 65 лет.

А.Г. Иванов стоял у истоков создания автоматизированных систем тиристорного электропривода. При его непосредственном участии и под его руководством разработано и внедрено в промышленность более 20 массовых серий тиристорных преобразователей и автоматизированных электроприводов на их основе. Этими изделий выпущено более 500 тыс.

А.Г. Иванов является одним из ведущих представителей Чебоксарской школы приводчиков, основанной академиком А.Д. Поздеевым. Он автор более 140 научных трудов, в том числе трех монографий и 64 изобретений.

Гельман Николаевич Степанов

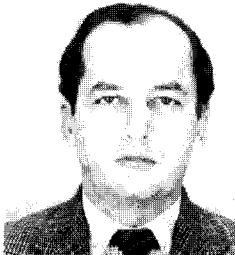


18 ноября 2001 г. Гельману Николаевичу Степанову, ведущему научному сотруднику ОАО "ВНИИР", заслуженному изобретателю Чувашской Республики, исполняется 65 лет.

При непосредственном участии Г.Н. Степанова и под его руководством были разработаны и внедрены в промышленность устройства и системы защиты низковольтных энергосистем, в том числе максимальнотоковая защита, направленная токовая защита с блокировкой и др.

Он автор ряда трудов и более 30 изобретений и патентов.

Валентин Александрович Сушко



4 апреля 2001 г. Валентину Александровичу Сушко, канд. техн. наук, ведущему научному сотруднику ОАО "ВНИИР" исполняется 65 лет.

При непосредственном участии В.А. Сушко и под его руководством были разработаны и внедрены в промышленность устройства защиты электроэнергетических систем, в том числе дифференциально-токовая защита ДФЗП-1, защита генераторов КЗР-3, быстродействующие реле защиты, многоступенчатая дистанционная защита ЛЭП напряжением 750 кВ и др.

Он — один из ведущих специалистов Чебоксарского центра релейной защиты и автоматики, доцент Чувашского госуниверситета.

А.А. Сушко — автор более 20 трудов и 10 изобретений и патентов. Он принимал участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

Виталий Федорович Шепелин



11 ноября 2001 г. Виталию Федоровичу Шепелину, канд. техн. наук, заведующему лабораторией ОАО "ВНИИР" исполняется 65 лет.

При непосредственном участии В.Ф. Шепелина разработаны и внедрены в промышленность транзисторные частотно-регулируемые электроприводы серии ЭПА, преобразователи частоты ПЧ-2, новое поколение электроприводов по схеме асинхронно-вентильного каскада мощностью до 5000кВт, тиристорные пускатели и др. Он — автор более 70 научных трудов, в том числе 43 изобретений.

Желаем нашим юбилярам крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов!



ОАО “ВНИИР”

Открытое акционерное общество
“Всероссийский научно-исследовательский,
проектно-конструкторский и технологический
институт релестроения с опытным производством”

ПРЕДЛАГАЕТ

РАЗРАБОТКУ, ПРОИЗВОДСТВО, СЕРТИФИКАЦИЮ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ И ИЗДЕЛИЙ:

- аппаратуры релейной защиты, противоаварийной автоматики и управления
- низковольтной контактной и бесконтактной коммутационной аппаратуры
- электроприводов, программируемых контроллеров и их компонентов
- специального технологического оборудования и технологической оснастки
- изделий бытового назначения



Как разработчики и производители мы гарантируем качество и надежность

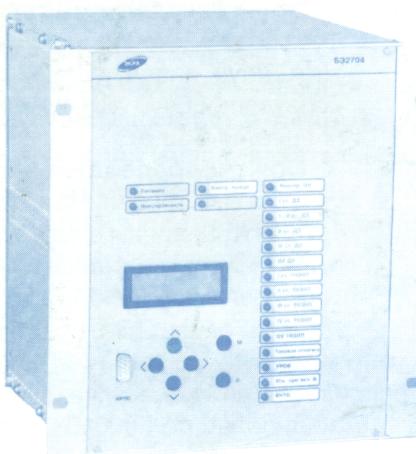
У нас Вы найдете комплексные решения для любой поставленной задачи, независимо от того, о чём идёт речь - об отдельных изделиях, системах или комплексных решениях для целых отраслей.

428000, г.Чебоксары,
пр.И.Яковлева,4.
Т./факс:(835-2)21-09-16,
E-mail: vniir@chtt.sru,
Internet: www.vniir.ru



ООО НПП “ЭКРА”

Комплектные микропроцессорные устройства для энергосистем:



- релейная защита генераторов и блоков генератор-трансформатор
- автоматика управления выключателями и защиты линий электропередачи 110-220 кВ
- защиты трансформаторов, автотрансформаторов и сборных шин 110-220 кВ
- регистраторы аварийных событий.

Новейшая микропроцессорная элементная база, автоматический самоконтроль, интеграция в современные АСУТП.

428000, г.Чебоксары, а/я 186
тел/факс:(8352)20-03-68,20-43-61,
21-99-29
E-mail: EKRA@chuvashia.ru
doni@chuvashia.ru

Подробная информация высылается
бесплатно по запросу. Поставка
устройств по договорам. Сертификаты
Соответствия РОСС RU.ME81.B00094,
РООС RU.ME81.B00047