

Президиум ВАК России
 Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия
 (решение от "26" 04 2002 г., № 19/52)
 присудил ученую степень ДОКТОРА
 технических наук на правах рукописи
 Начальник управления ВАК России

ТАРАНОВ МИХАИЛ АЛЕКСЕЕВИЧ

**Повышение эффективности функционирования
 электроустановок в сельском хозяйстве**

Специальность 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование
 в сельском хозяйстве

Диссертация в виде научного доклада на соискание ученой степени
 доктора технических наук

Зерноград – 2001

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Воробьев В.А.

доктор технических наук, профессор Сошников А.А.

доктор технических наук, профессор Стрижков И.Г.

Ведущая организация: Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства (ВНИПТИМЭСХ)

Защита состоится « 17 » 12 2001 г.

в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 220.044.02 в Московском государственном агроинженерном университете им. В.П. Горячкина по адресу: 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 58, аудитория № 342

Отзывы направлять по адресу:
127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 58, Ученый Совет.

С диссертацией в виде научного доклада можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета им. В.П. Горячкина

Диссертация в виде научного доклада разослана « 16 » 11 2001 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
профессор



Загинайлов В.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Эффективность сельскохозяйственного производства напрямую связана с эффективностью функционирования электроустановок. Современные электроустановки эксплуатируются в условиях низкого качества электроэнергии, недостаточной надежности электроснабжения, отсутствия или некачественной работы электротехнических служб. Изменилась также структура сельскохозяйственных электропотребителей. Так, в Ростовской области сельскохозяйственным производством занимаются 1863 крупных коллективных предприятия, 17,4 тысячи фермерских и 532 тысячи личных подсобных хозяйств. В то же время, прогнозирование и обеспечение надежной работы электроустановок – достаточно сложная задача, поскольку процесс их функционирования протекает в условиях действия стохастических возмущающих факторов (климатические условия, состав агрегатов, участвующих в работе, и т.д.), что требует серьезных теоретических исследований по моделированию статических и динамических режимов.

В связи с этим возникает научная проблема повышения эффективности сельскохозяйственного производства путем обоснования новых методов и средств повышения эффективности функционирования электроустановок и систем энергообеспечения.

Основываясь на исследованиях Голована А.Т., Гейлера Л.Б., Костенко М.П., Сыромятникова И.А., Супруна Г.Ф., Артоболевского И.И., Ильинского Д.Я., Будзко И.А., Гессена В.Ю., Назарова Г.И., Сазонова Н.А., Андрианова В.Н., Славина Р.М., Левина М.С., Мусина А.М., Сырых Н.Н., Стребкова Д.С., Бородина И.Ф., Лещинской Т.Б. и других ученых, в нашей работе сформулирована научная концепция – выявление закономерностей функционирования электроустановок в изменившихся производственно-экономических и социальных условиях и создание на этой основе систем электроустановок и методов оптимального их проектирования и эксплуатации, обеспечивающих эффективное использование энергоресурсов.

Работа выполнена в Азово-Черноморской государственной агроинженерной академии в рамках Научно-технической программы фундаментальных и приоритетных прикладных исследований по научному обеспечению АПК Российской Федерации на 1996-2000 годы в соответствии с научной проблемой 12 «Разработать научные основы развития системы технолого-технического обеспечения сельскохозяйственного производства, создания машин и энергетики нового поколения, формирования эффективного инженерно-технического сервиса в условиях рыночной экономики».

Цель работы: создание теоретических положений, методов и средств обеспечения эффективного функционирования электроустановок в сельскохозяйственном производстве за счет их правильного комплектования, новых технических решений и рациональной эксплуатации.

Объект исследования: система, обеспечивающая изучение электроустановок в сельскохозяйственном производстве и условий повышения эффективности их функционирования.

Предмет исследования: подсистемы, входящие в систему по изучению электроустановок и условий повышения эффективности их функционирования:

природно-производственная, проектирования, электроснабжения и эксплуатации.

Методология исследований: при решении поставленных научных задач использовались принципы системного подхода, основные законы электротехники, теоретической механики, методы математического моделирования, методы теории вероятностей и математической статистики, исследования систем автоматического регулирования, вариационного исчисления, исчисления предикатов, теория выбора решений, экспериментальные исследования.

Научная новизна работы заключается в разработке методологических принципов и методов комплексного решения задач повышения эффективности сельскохозяйственных электроустановок и включает:

- методический подход оптимизационного синтеза структур электроустановок;
- теоретические положения определения технико-экономических показателей электроустановок;
- новые технические средства повышения эффективности функционирования электроустановок;
- метод определения оптимальных параметров электрической сети с учетом взаимодействия динамических систем нагрузок с источниками энергии;
- новые теоретические и экспериментальные результаты исследований асинхронного электропривода в режиме динамического торможения.

Научные положения, выносимые на защиту:

- морфологический метод направленной композиции структур;
- математические положения для оценки характеристик электроустановок в условиях действия детерминированных и стохастических возмущающих факторов;
- методика расчета динамических режимов асинхронного электропривода в условиях соизмеримости мощности в системе «сеть – узел нагрузки»;
- математические модели асинхронного электропривода в режиме динамического торможения;
- оптимальные параметры ветроэлектрических станций.

Практическая ценность полученных результатов обусловлена возможностью:

- повысить качество проектных разработок за счет выбора оптимального варианта электроустановок сельскохозяйственных объектов на основе предложенного подхода;
- объективно сопоставить эксплуатационно-технические характеристики отечественных и зарубежных образцов электротехнического оборудования;
- научно обоснованно выбирать ветроэлектрические станции с учетом климатических и других условий региона использования;
- обосновать рациональные параметры элементов электроприводов, обеспечивающие устойчивые режимы работы и необходимые, исходя из технологических требований, пределы регулирования скорости механизмов и агрегатов;
- определять параметры питающей сети с учетом взаимодействия динамических систем нагрузок с источниками питания в условиях соизмеримости мощности;

- использовать новые технические решения, позволяющие эффективно эксплуатировать электроустановки сельскохозяйственных предприятий
- сократить энергозатраты в энергоемких процессах на 7-10 %.

Апробация. Основные результаты исследований докладывались, обсуждены и одобрены:

- на научных конференциях профессорско-преподавательского состава АЧГАА (Зерноград, 1979...2000 гг.), МГАУ (1982...1985, 1988 гг.), ЧГАУ (Челябинск, 1989, 2000 гг.), СГСА (Ставрополь, 1997...2000 гг.), КГАУ (Краснодар, 1992 г.);
- на Всероссийской научно-технической конференции по проблемам комплексной механизации и автоматизации кормопроизводства (Киев, 1982 г.);
- на Всесоюзной научно-технической конференции «Повышение эффективности использования электропривода в сельскохозяйственном производстве» (Челябинск, 1989 г.);
- на 1-й межвузовской конференции по многоскоростному и электронизированному электроприводу в сельском хозяйстве (Зерноград, 1990 г.);
- на научных конференциях ВНИПТИМЭСХ (Зерноград, 1982, 1996-2000 гг.);
- на 1-й Российской научно-практической конференции «Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе» (Ставрополь, 2001 г.);
- на Всероссийском семинаре заведующих кафедрами и ведущих специалистов по эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве (Зерноград, 2000 г.);
- на международной научно-технической конференции «Земледельческая механика на рубеже столетий» (Мелитополь, 2001 г.);
- на 4-й международной конференцией по физико-техническим проблемам электротехнических материалов и компонентов (Клязьма, 2001 г.);
- на выездном заседании бюро Отделения механизации, электрификации и автоматизации Россельхозакадемии (Москва, 2001 г.).

Публикации. Основные результаты исследований по данной теме опубликованы в работах автора, список которых прилагается к докладу, включая: монографии – 2; учебники – 1; учебные пособия – 12; авторские свидетельства – 7; а также научные статьи в центральных отечественных и зарубежных изданиях. Общий объем опубликованных лично автором работ по теме диссертации составляет 73 печатных листа.

Реализация результатов исследований. Материалы исследований использованы ВНИПТИМЭСХ при:

- разработке «Рекомендаций по обоснованию рациональной структуры электропитающих установок сельскохозяйственных объектов»;
- разработке математических моделей оптимальных автономных систем электроснабжения;
- проектировании комбикормовых предприятий производительностью 2...10 т/ч мощностью 250...300 кВт, внедренных в различных регионах Российской Федерации;
- выполнении проекта ступенчатого пуска электродвигателей оросительных насосных станций дождевальных машин серии ЭДМФ «Кубань-М».

Полученные результаты исследований позволили сформулировать зональные агрозоотехнические требования «Автономная система электроснабжения фермерских хозяйств Ростовской области на основе использования энергии ветра», утвержденные Минсельхозпродом Ростовской области.

Проведенные на Северо-Кавказской машиноиспытательной станции испытания плавнорегулируемого асинхронного короткозамкнутого электропривода подачи рабочего органа траншейного выгрузчика на основе схем динамического торможения подтвердили их высокие регулировочные характеристики и позволили внедрить результаты данных исследований на траншейном выгрузчике ПТС-30 в АООЗТ «Учхоз Зерновое».

Результаты исследований использованы для динамического торможения в приводе обкаточного стенда двигателей внутреннего сгорания на Федеральном государственном унитарном предприятии ФГУСП «Батайское» СКВО.

В ряде предприятий Ростовской области внедрены проекты электротехнических служб с прогрессивными формами организации эксплуатации электрооборудования. В АООЗТ «СКВО» Зерноградского района используются преобразователи однофазного напряжения в трехфазное и устройства защиты от неполнофазных режимов, обеспечивающие непрерывность технологических процессов.

Результаты исследований вошли в учебник по эксплуатации энергооборудования /1/, монографию /2,3/ и учебные пособия /4,5,7 и др./ для высших учебных заведений, используемые в учебном процессе агроинженерных факультетов вузов Минсельхоза России.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Среди различных систем, обеспечивающих эффективное функционирование предприятий агропромышленного комплекса, важное место принадлежит системам энергообеспечения. Концептуальные положения электроэнергетики села на 2001-2005 гг. сформулированы в программе РАСХН по проблеме 12. Механизация, электрификация и автоматизация как развитие научного направления «Механика и процессы агроинженерных систем» путем создания техники и энергетики нового поколения и формирования эффективной инженерно-технической инфраструктуры агропромышленного комплекса.

Необходимое увеличение сельскохозяйственной продукции для обеспечения продовольственной безопасности страны требует дополнительных энерго ресурсов. Вместе с тем, производство сельскохозяйственной продукции носит энергозатратный характер, ее энергоемкость в 2 – 3 раза выше, чем в развитых странах. При опережающем росте цен на энергоресурсы доля энергозатрат в себестоимости сельхозпродукции по сравнению с 1990 г. значительно возросл (по отдельным видам – в 2 и более раз). Основополагающей проблемой является энергосбережение, под которым по определению И.Ф.Бородина, понимается

устранение непроизводственных потерь, обусловленных неоптимальным получением, преобразованием, передачей и использованием электрической энергии.

Главным принципом построения систем электроснабжения сельскохозяйственных предприятий на нынешнем этапе является использование систем централизованного электроснабжения (СЦЭ) в качестве основного источника питания, дизельных, бензиновых электростанций и химических источников тока в качестве резервных источников энергии.

Среди характерных недостатков существующих систем электроснабжения необходимо отметить следующие:

- невысокую надежность сетей систем централизованного электроснабжения;
- большой физический износ сетей (до 50%);
- низкое качество электроэнергии при питании от СЦЭ (отклонения напряжения увеличились до 25%);
- неравномерная загрузка электрических сетей в течение суток и сезонов, большие потери электроэнергии (потери энергии возросли с 10% до 35%);
- сложности в развертывании и эксплуатации передвижных дизельных электростанций, при этом качество электроэнергии в динамических режимах при использовании такого источника может быть еще хуже, чем при питании от СЦЭ. Возможности применения химических источников тока ограничены потребляемой мощностью и временем эксплуатации.

Отмеченные недостатки существующих систем электроснабжения обостряются на фоне быстрорастущих требований со стороны сельских потребителей электроэнергии.

Указанные недостатки проявляются в разной степени для различных систем электроснабжения и могут быть устранены путем обоснования на стадии эскизного проектирования, когда синтезируется система.

Несмотря на наличие различных теоретических подходов к синтезу сложных технических систем, реальный процесс проектирования систем электроснабжения в настоящее время во многом определяется опытом конструктора, его интуицией и творческими задатками. Вместе с тем, известно, что формализация творческой деятельности позволяет существенно сократить время на разработку систем, облегчить труд проектировщика, повысить качество электроустановок. В первую очередь задача внедрения автоматизированных методов должна быть решена на начальных этапах проектирования при выборе будущего облика системы и определении варианта, подлежащего дальнейшей разработке.

Методы оптимального проектирования широко и плодотворно используются при параметрическом и структурном синтезе вычислительных систем, элементной базы радиоэлектронной аппаратуры, машин и механизмов в машиностроении, систем автоматического управления. Вопросы синтеза систем автономного электроснабжения (САЭ) народнохозяйственных объектов рассмотрены в работах Лазарева И.А., Супруна Г.Ф. и др. Применительно к системам электроснабжения эта проблема рассматривалась в трудах ученых школы Стребкова Д.С. Однако в целом эти работы еще не завершены.

Одной из основных особенностей исследования САЭ на начальных этапах создания является то обстоятельство, что на первый план выдвигаются задачи структурного синтеза. В то же время, эти задачи относятся к наиболее трудно формализуемым, в силу чего они до последнего времени решались на эвристической основе.

При проведении прикладных исследований на этапе эскизного проектирования САЭ затруднение вызывает неопределенность относительно структуры системы и характеристик отдельных электротехнических агрегатов. Кроме того, возникает необходимость в учете стохастического характера возмущающих факторов, действующих на систему в процессе эксплуатации, что приводит к достаточно сложным динамическим моделям при оценке выходных координат, описываемых дифференциальными уравнениями высокого порядка.

В сложившейся ситуации традиционный подход к синтезу сложных технических систем, предусматривающий исследование на первом этапе процесса функционирования системы, с последующей проверкой ограничений на показатели качества и структуру, не эффективен. В связи с этим, требуется разработка метода, предусматривающего составление развернутой функциональной модели на заключительных этапах оптимизационного синтеза, когда из рассмотрения будет исключен ряд электротехнических агрегатов, не удовлетворяющих требованиям технического задания (ТЗ) и условиям совместной применимости, а также решены вопросы повышения эффективности до заданного уровня для некоторых показателей (надежности, качества электроэнергии и др.).

Традиционные подходы к синтезу структуры обычно предполагают формирование списка и полный перебор всех возможных альтернативных вариантов с последующей отбраковкой непригодных структур. На указанном подходе базируются получившие широкое распространение в практике машиностроения методы поиска таблиц решений, разработанные Артоблевским И.И., Ильинским Д.Я., Горанским Г.К. Однако при большом количестве альтернативных вариантов применения электротехнических агрегатов трудоемкость решения поставленной задачи становится весьма значительной.

Отмеченные недостатки указывают на необходимость изыскания нового формализованного метода структурного синтеза.

Концептуальное положение энергосбережения не означает сокращение потребления энергии, а предполагает повышение её доли использования непосредственно в технологических процессах. В связи с этим, особую актуальность приобретает разработка методов и средств повышения эффективности функционирования сельских электроустановок. Важное значение имеют наиболее распространенные асинхронные электроприводы, режимы их работы, взаимодействие с источниками питания в системе «сеть – узел нагрузки».

Из-за проблемы пуска асинхронных электродвигателей приходится завышать сечения проводов линий и мощность источников питания, что приводит к увеличению капитальных, эксплуатационных затрат и энергопотребления.

Теория пусковых процессов разрабатывалась в фундаментальных трудах Голована А.Т., Гейлера Л.Б., Костенко М.П., Сыромятникова И.А. и др. Дальнейшее развитие и конкретизацию применительно к сельскому хозяйству эт

проблема получила в исследованиях Будзко И.А., Гессена В.Ю., Назарова Г.И., Сазонова Н.А., Андрианова В.Н., Славина Р.М., Левина М.С., Мусина А.М., Якименко А.П., Сидоренко Б.А., Панькина В.В., Резника Р.В. и других авторов.

В трудах соискателя получили развитие вопросы теории пуска асинхронных электродвигателей, учитывающие взаимодействие динамических систем с источником энергии.

Развитие теории и практики создания полюсопереключаемых обмоток (работы Ванурина В.Н. и др.) позволяет получать многоскоростные двигатели с несложными схемами переключения и высоким использованием габаритов. В связи с этим появляется возможность использования их для электроприводов соизмеримой мощности (например, электропривод насосных станций). Пуск переключением полюсов, благодаря ступенчатому, по мере разбега, увеличению частоты вращения электромагнитного поля, позволяет снизить нагрев двигателя и трансформатора, повысить коэффициент соизмеримости мощностей системы «сеть – электропривод» и улучшить технико-экономические показатели их использования.

Сложившиеся условия и тенденции развития сельской энергетики требуют создания систем электроснабжения нового поколения, отвечающих экономико-экологическим требованиям и современному техническому уровню доставки энергии в соответствии с запросами потребителя.

В свете изложенного представляются перспективными и требующими научной проработки вопросы создания автономного электроснабжения (в том числе и на основе возобновляемых источников энергии), разработки принципиально новых подходов в обеспечении работоспособности сельских электроустановок, сохраняющих электрооборудование без нарушения технологического процесса.

Эти изменения требуют нового подхода и к эксплуатации сельских электроустановок.

В указанном научном направлении в соответствии с целью предусмотрено решение следующих взаимосвязанных задач:

- разработать методические положения оптимизационного синтеза и анализа электроустановок в сельскохозяйственном производстве;
- теоретически обосновать и разработать новые системы функционирования электроустановок в соответствии с концептуальными положениями развития сельской энергетики;
- определить оптимальные параметры электрической сети с учетом взаимодействия динамических систем нагрузок с источниками энергии;
- исследовать возможности и разработать способ расширения области применения и повышения эффективности асинхронных электродвигателей в регулируемых электроприводах;
- обосновать технические мероприятия, обеспечивающие эффективное функционирование энергоустановок в современных условиях эксплуатации.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОГО СИНТЕЗА И АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

2.1. Анализ существующих методических подходов формирования и оценки вариантов электроснабжения сельскохозяйственных объектов

Поиск рациональной системы электроснабжения сельскохозяйственных объектов является целью оптимизационного синтеза, проводимого на ранних этапах проектирования. Достигается поставленная цель определением наилучшего из возможных вариантов организации системы электроснабжения, удовлетворяющего ограничениям, задаваемым техническим заданием на проектирование.

Применительно к системам электроснабжения (СЭС) задача оптимизационного синтеза конкретизируется в виде следующих операций:

- формирование блока исходной информации;
- разработка метода формирования списка функционально необходимых структур СЭС;
- параметрический синтез, представляемый в виде задачи оптимального резервирования структур;
- обоснование результирующей целевой функции и частных показателей качества, а также создание методик расчета этих показателей;
- построение развернутой модели функционирования СЭС в условиях действия детерминированных и стохастических возмущающих воздействий;
- разработка метода поиска оптимального варианта СЭС в многомерно дискретном пространстве альтернатив на основе обобщенного показателя качества.

Помимо оптимизационного синтеза в практике научных исследований возникает необходимость в сравнении отечественных и зарубежных электротехнических устройств, экспертизе вариантов организации электроснабжения предлагаемых различными организациями, оценке эффективности доработок существующих систем. Указанная группа задач (когда заданы варианты структур) требует процедуры технико-экономической оценки с целью определения более предпочтительного решения и относится к задачам анализа.

Характерными особенностями методических подходов, применяемых в настоящее время при определении системы электрооборудования сельскохозяйственных объектов, являются следующие:

- рассмотрение ограниченного числа частных показателей качества, что не позволяет всесторонне оценить техническое совершенство СЭС и их эксплуатационные характеристики;
- явно выраженный детерминированный характер методов расчета характеристик электрооборудования и частных показателей качества;