

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИКИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ОСНОВЕ ТИПОВЫХ ГИБРИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

М.Г. Тягунов, проф. кафедры нетрадиционных и возобновляемых источников энергии МЭИ, д-р техн. наук

В статье рассматриваются вопросы развития систем малой и распределенной энергетики на основе гибридных энергетических комплексов, использующих возобновляемые источники энергии.

Ключевые слова: малая и распределенная энергетика, гибридные энергетические комплексы, возобновляемые источники энергии, магнитная трансмиссия.

Среди основных причин отставания России в развитии энергетики возобновляемых источников следует отметить высокую степень централизации управления производством, транспортом и распределением электрической и тепловой энергии, связанную с этим модель рынка электроэнергии и мощности в Единой энергетической системе (ЕЭС) России. Эти позиции положены в основу энергетической стратегии России, закона об энергетике и стандартов управления ЕЭС. В централизованной энергетической системе все источники энергии должны обеспечивать всем потребителям энергии, в зависимости от категории, гарантированное энергоснабжение. Электростанции, не имеющие аккумуляторов энергии или энергетического ресурса, не обеспечивают такую гарантию. Но главной причиной, по которой энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) до настоящего времени считаются неконкурентоспособными в ЕЭС России, является более высокая удельная стоимость мощности и производимой энергии при экономической оценке объектов возобновляемой энергетики методом сравнительной эффективности. Последнее, как не трудно видеть, также зависит от модели использования установок на основе ВИЭ в централизованной энергосистеме. Нетрудно понять, что с ростом цен на углеводородное и иное ископаемое топливо экономическая эффективность установок на основе ВИЭ будет возрастать [1–10].

Немаловажным является соблюдение критериев качества электроэнергии и устойчивости режима электроэнергетической системы, обеспеченной резервом мощности [11, 13, 17]. Для разных систем этот предел, в который могут «вписываться» установки ВИЭ, составляет 10–15 %, хотя по оценкам российских специалистов он может быть и большим [35].

Определенные выше проблемы могут быть в значительной степени решены в том случае, если установки на основе ВИЭ будут работать вне пределов ЕЭС, не подчиняясь, таким образом, правилам ее функционирования. Такая возможность в России, безусловно, имеется, учитывая то обстоятельство, что более половины территории страны не охвачено централизованным энергоснабжением, а в районах Крайнего Севера и Дальнего Востока экологическая обстановка осложняется отходами автономной энергетики на базе дизель-генераторных установок.

Наиболее благоприятными объектами для развития возобновляемой энергетики являются малые и распределенные энергетические системы, разработка которых с ноября 2010 г. приобрела статус Технологической платформы.

Однако реальное развитие возобновляемой энергетики станет возможным тогда, когда все необходимое оборудование для энергоустановок на основе ВИЭ будет производиться на отечественных предприятиях. Анализ возможностей импортозамещения в этой части показал, что в ближайшие годы российскими предприятиями могут быть освоены все элементы энергоустановок, за исключением механических мультипликаторов [16]. В связи с этим поиск альтернативных решений, которые позволят организовать производство оборудования для установок на основе ВИЭ в России, является важной задачей развития отечественной энергетики и энергомашиностроения.

Общая характеристика обсуждаемой тематики исследований широка и многообразна. Она связана с созданием принципов построения малых и распределенных энергосистем с установками на основе ВИЭ, изучением режимов работы малых энергосистем, включая вопросы управления режимами генерирующего оборудования, внутренних электрических и тепловых сетей, потребителей электрической и тепловой энергии, а также правилами управления этими системами. Эта комплексная проблема в настоящее время отражена в приоритетном направлении «Энергетика и энергоэффективность», критических технологиях «Технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику», «Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии» (Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899) и в технологических платформах: «Интеллектуальная энергетическая система России», «Перспективные технологии возобновляемой энергетики» и «Малая и распределенная энергетика».

Такое распределение проблемы между различными направлениями создает существенные трудности для нахождения удовлетворительных комплексных решений всего спектра задач. Попытки включения предложений отдельных разработчиков в по-разному целенаправленные программы научных исследований создают условия для частичного решения отдельных задач, в то время как прогресс исследований может быть достигнут только при одновременном решении всех составляющих названной комплексной проблемы.

Анализ тенденций научно-технического и технологического развития в рамках технологической платформы «Малая и распределенная энергетика». Работы в рамках данной технологической платформы предполагают создание базы для надежного энергоснабжения существующих и проектируемых потребителей в районах, не охваченных сетями ЕЭС России с максимальным использованием местных энергетических ресурсов, включая возобновляемые источники энергии.

Для создания типовых энергетических комплексов, объединяющих в себе объекты извлечения первичной энергии, генерации, концентрации, передачи, аккумуляции, распределения и эффективного потребления энергии, требуется решить ряд научных и инженерных задач по разработке отдельных промышленных энергетических установок малой и средней мощности, определить оптимальные структуру и параметры гибридных энергетических комплексов (ГЭК), объединяющих работу всех указанных выше элементов и осуществляющих управление процессами в создаваемых на их основе малых распределенных энергосистемах.

Работы по типовому проектированию энергетических установок в России уже ведутся: разрабатывается база для изготовления отечественного оборудования, методики прогнозирования и управления режимами малых и распределенных энергетических систем. В частности, постановка задачи создания локальных и распределенных гибридных энергокомплексов частично решена при выполнении научно-исследовательской работы «Разработка технологии обоснования параметров ГЭК мощностью от 500 кВА на основе теплонасосных, дизельных, ветровых и гидравлических установок с новыми типами генераторов», проведенной в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы».

Есть ряд решений, определяющих структуру и параметры генерирующей части гибридных энергокомплексов [10, 17, 26–31]. Однако они не могут служить основой для серьезного развития малой энергетики, так как не рассматривают режимы и параметры потребителей энергии и локальных электрических и тепловых сетей, что и определяет суть системного подхода к проблеме [22–25, 35].

Области возможного применения результатов исследований по предлагаемой теме. Результаты исследований путей создания гибридных энергокомплексов на основе ВИЭ должны найти применение:

– в создании типовых схем гибридных энергокомплексов для различных районов России, на основе которых можно будет организовать быстрое и качественное проектирование таких объектов;

– в разработке новых инженерных решений для изготовления энергетического оборудования, в том числе использующих отечественные ноу-хау в энерго- и электромашиностроении;

– в создании типовых автоматизированных систем управления функционированием ГЭК, включая управление балансами энергии и мощности, надежностью энергоснабжения и состоянием оборудования и сооружений гибридных энергокомплексов.

Развитие систем электроснабжения на основе гибридных энергокомплексов позволит повысить энергетическую и экологическую безопасность локальных энергосистем за счет самобалансирования и снижения доли используемых углеводородных видов топлива.

Оценка реализуемости и возможных рисков при разработке перспективных технологий, составляющих сущность предлагаемой темы исследований. Готовность к проведению работ по предлагаемой тематике подтверждается опубликованными результатами деятельности таких организаций, как ОАО «НИИЭС», ОАО «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании», ОАО «ГосМКБ «Радуга», ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского», Объединенный институт высоких температур РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт».

Важным фактором успешной реализации проекта является технология выполнения работ по предлагаемой тематике, в основе которой должен лежать проектный подход. Основные технические и технологические подходы к проектированию ГЭК с использованием установок на основе ВИЭ и электрических генераторов с магнитной трансмиссией сформулированы в рамках научно-исследовательской работы «Разработка технологии обоснования параметров ГЭК мощностью от 500 кВА на основе теплонасосных, дизельных, ветровых и гидравлических установок с новыми типами генераторов», выполненной в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы» [22]. Построены математические модели элементов ГЭК, изготовлены лабораторные макеты и проведены их испытания, показывающие перспективность исследований в этом направлении [28–34].

Сложившиеся в ходе выполненной НИР деловые отношения между исполнителями работ дают основание предполагать эффективную реализацию цели проекта.

Основными рисками проектов, в выполнение которых вовлечены разные организации разной формы собственности и разным способом формирования оборотных средств, являются риски, связанные со своевременностью, качеством и соответствием техническому заданию изготовления лабораторных, макетных и иных образцов оборудования, прототипов программ и иных опытно-промышленных продуктов.

Весьма важным фактором успешности проекта является непрерывность финансирования НИОКР, от чего зависит своевременность выполнения заказов на изготовление лабораторных и иных образцов, а также прототипного программного обеспечения.

К числу рисков нужно отнести и своевременность бюджетного финансирования проекта.

Рекомендуемый управленческий подход и общий план инвестиций. Для выполнения работ по рассматриваемой тематике институциональные преобразования не требуются. Координация работ должна осуществляться по принципу управления мультипроектом по заранее определенным показателям: времени выполнения этапа (задания), согласованию входных и выходных параметров, согласованным методикам их определения. Нужно только обеспечить этими инструментами организацию, которая будет выполнять в проекте функции генерального подрядчика.

Разработка нормативно-правовых актов, регулирующих работу малых и распределенных систем энергетики, уже производится. Необходимость уточнения их в зависимости от структуры ГЭК будет выявлена в процессе выполнения исследований. Однако уже сегодня можно отметить ряд проблем в этой области. Так, например, постановление Правительства от

3 июня 2008 г. № 426 [5] не учитывает требования разрабатываемых ГОСТ Р, являющихся аналогами стандартов МЭК 61400-22, где подробно рассматривается процедура сертификации создаваемых ветроэнергетических установок. В настоящее время разрабатывается ряд новых нормативных актов, которые также не отражают требования указанного стандарта, а несоблюдение международных норм и стандартов в условиях ВТО может нанести ущерб конкурентоспособности России.

Управление проектом создания гибридных энергокомплексов подразумевает проведение НИОКР, выполнение пилотных проектов для первоочередных регионов страны, для разработки распространяемой технологии проектирования, изготовления оборудования, строительно-монтажных работ, пуска и эксплуатации. Весь цикл проекта, т. е. время прохождения всех вышеуказанных стадий, должен быть не более 10 лет – период, в течение которого технические и технологические решения могут считаться относительно стабильными. Это значит, что сроки выполнения работы на уровне исследований и изготовления прототипных образцов оборудования и программного обеспечения не могут превышать 3 года, так как вслед за этим должны начинаться работы по промышленному изготовлению оборудования и созданию систем автоматизированного управления и проектирования ГЭК. Это значит, что при начале НИР в 2012 г. ее окончание должно быть не позже 2015 г.

Для успешного выполнения работ в рамках рассматриваемого проекта следует проработать вопросы:

- конструкции гибридного энергокомплекса и его элементов, их технологической совместимости, надежности и долговечности, условий изготовления, доставки и монтажа;
- режимов работы гибридного энергокомплекса, гибкого переключения его элементов, переходных режимов (гидро- и аэродинамических, электромеханических, электромагнитных и т. д.);
- управления режимами работы гибридного энергокомплекса с учетом безопасности и надежности его работы, гарантий энергоснабжения, высокой степени автоматизации, достигающей уровня работы элементов ГЭК без постоянного обслуживающего персонала;
- разработки экономической оценки рассматриваемых вариантов, гибкой системы критериев оценки инвестиционной привлекательности проектов сооружения ГЭК.

Указанные работы могут быть выполнены в рамках предлагаемого примерного плана:

1. Разработка концепции создания распределенных энергосистем на основе установок ВИЭ, документации для проектирования и изготовления моделей электрических машин с магнитной трансмиссией. Разработка комплексной модели ГЭК.

2. Разработка конструкторской документации для изготовления экспериментального образца электрических машин с магнитной трансмиссией, а также элементов систем автоматизированного проектирования (САПР), ГЭК (баз данных по энергетическому потенциалу, типам оборудования, элементам трехмерного моделирования оборудования и сооружений ГЭК).

3. Изготовление экспериментального образца электрических машин с магнитной трансмиссией. Разработка демонстрационных образцов трехмерного моделирования ГЭК для САПР.

4. Изготовление электрических машин с магнитной трансмиссией, их испытания и обобщение результатов испытаний. Разработка типовых методик и программных средств проектирования ГЭК для различных регионов России.

К работам должны быть привлечены специалисты, имеющие опыт работы в широкой области исследований и разработок, в первую очередь – имеющие задел в работах по рассматриваемой тематике.

Организации, подтвердившие свою компетентность в решении отмеченных вопросов, должны составить сеть центров компетенций. К ним можно отнести в первую очередь: Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике (АПБЭ), ОАО «РусГидро» и его филиалы (ОАО «НИИЭС», ОАО «ВНИИГ»), ОАО «Научно-технический центр Феде-

ральной сетевой компании», ОАО «ГосМКБ «Радуга», ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского», ФГУП НПО «Астрофизика», Объединенный институт высоких температур РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Всероссийский электротехнический институт им. В.И. Ленина.

Для коррекции имеющихся решений участники проекта должны участвовать в международных конференциях, симпозиумах и рабочих встречах, на которых обсуждаются профильные вопросы. К выполнению проекта в качестве консультантов, поставщиков оборудования и др. могут быть привлечены зарубежные организации. Однако координирующая роль в проекте должна оставаться за профильной российской организацией.

Объем бюджетного финансирования предусматривается исходя из обеспечения оплаты труда специалистов на уровне средней по г. Москве (45 тыс. руб. в месяц.) и затрат на изготовление опытных образцов техники на уровне 60 млн руб. (по опыту изготовления лабораторного образца для выполнения НИР по ФЦП в 2011–2012 гг.), что составляет ориентировочно 172,5 млн руб.

Привлечение внебюджетных средств в объеме не менее 100 % бюджетного финансирования должно осуществляться в рамках работ, выполняемых по программам ОАО «РусГидро», ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «ИНТЕРРАО», а также иных организаций, поддерживающих технологические платформы «Новые и возобновляемые источники энергии» и «Малая и распределенная энергетика».

Заключение. Предлагаемая тематика исследований направлена на решение следующих задач, определенных государственной программой «Развитие науки и технологий на 2012–2020 годы»:

- обеспечение сбалансированного поступательного развития сектора исследований и разработок, эффективной реализации и дальнейшего накопления научного потенциала;
- формирование условий для научно-технических прорывов, потенциала для опережающего инновационного развития по отдельным перспективным направлениям, создания новых секторов экономики, в частности электромашиностроении;
- усиление влияния сектора исследований и разработок на другие отрасли и сферы деятельности, мультипликативных эффектов для инновационного развития экономики в целом, в том числе на развитие корпоративной (отраслевой) науки на основе использования ресурсов государственного сектора исследований и разработок и применения различных механизмов государственно-частного партнерства, а также подготовки квалифицированных кадров для решения практических задач российской энергетики;
- эффективная интеграция российского сектора исследований и разработок в глобальную инновационную систему, в том числе за счет обеспечения доступа российских ученых к исследовательской базе ведущих зарубежных научных центров.

Предлагаемая тематика исследований является комплексной, охватывая тематические области «Новые и возобновляемые источники энергии», «Электроэнергетические системы», «Энергоэффективное конечное потребление» приоритетного направления «Энергетика и энергоэффективность»; критические технологии «Технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику», «Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии» и технологические платформы: «Интеллектуальная энергетическая система России», «Перспективные технологии возобновляемой энергетики», «Малая и распределенная энергетика».

Использование результатов работы планируется:

- при создании типовых гибридных энергокомплексов для различных районов России, которые должны стать основой для быстрого и качественного проектирования и сооружения;
- при создании новых инженерных решений для изготовления энергетического оборудования, в том числе использующих отечественные ноу-хау в энерго- и электромашиностроении;

– при создании типовых автоматизированных систем управления функционированием ГЭК, включая управление балансами энергии и мощности, надежностью энергоснабжения и состоянием оборудования и сооружений гибридных энергокомплексов.

Развитие систем электроснабжения на основе гибридных энергокомплексов позволит повысить энергетическую и экологическую безопасность энергорайонов за счет самобалансирования и снижения доли использования углеводородного топлива.

При выполнении работы предусматривается развитие сотрудничества образовательных учреждений, имеющих опыт проведения научных исследований и подготовки кадров для науки и промышленности, с ведущими научными центрами РАН и научно-техническими центрами крупнейших энергетических корпораций, таких как «РусГидро», ФСК и «ИНТЕРРАО», зарубежными партнерскими организациями.

Выполнение НИОКР позволит перейти к этапу создания пилотных ГЭК в выбранных районах страны, готовых к реализации столь масштабных проектов.

Участие федерального бюджета в финансировании исследовательской части проекта создает условия для того, чтобы практическая реализация результатов была осуществлена при смешанном финансировании в рамках частно-государственного партнерства.

Включение в план работ 2012–2015 гг. позволит осуществить реализацию пилотных проектов в период до 2020 г.

Список литературы

1. **Распоряжение** Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р «Об энергетической стратегии России на период до 2030 года».
2. **Анализ** возможностей и целевых показателей роста электрогенерации в России на базе возобновляемых источников энергии до 2020 г. Отчет консорциума ICF / COWI / IGPEE. 2009 г.
3. **Безруких П.П.** Ветроэнергетика (Справочное и методическое пособие). М.: ИД «Энергия», 2010.
4. **Hugo Chandler** (International Energy Agency), IEA Wind Energy Roadmap, June 21st 2011, Moscow, INTERRAO.
5. **Dr Paolo Frankl**, (Head of IEA Renewable Energy Division), IEA Solar PV Technology Roadmap, June 21st 2011, Moscow, INTERRAO.
6. **Joachim Kutscher** (Vice Chair IEA Wind Energy Agreement, Research Centre Juelich GmbH, Germany). Experiences in the Development of Wind Energy in Germany, Moscow, INTERRAO.
7. **Paolo Frankl** (Head, Renewable Energy Division International Energy Agency) Role of Renewables in IEA Scenarios (Roadmaps on Development and R&D Technology for Renewables: Situation in Russia and the World), June 21st 2011, Moscow, INTERRAO.
8. **Ермоленко Г.В.** Перспективы и особенности развития сетевой ветрогенерации в ценовых и неценовых зонах Российского энергетического рынка. М.: ИНТЕРРАО, 2011.
9. **GWEC annual market** update 2010 2nd edition // Global Wind Energy Council, Brussels, Belgium, April – 2011.
10. **Ветроэнергетика** мира. Отчет за 2010 г. // World Wind Energy Association, Россия, апрель 2011.
11. **Нетрадиционные** и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. М.: КНОРУС, 2010.
12. **Васильев Г.П.** Геотермальные системы теплоснабжения // Теплоэнергетика. 2004. № 6.
13. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 3 июня 2008 г. № 426 «О квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе возобновляемых источников энергии» // Собр. законодат. Рос. Федерации. 2008. № 23.
14. **Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б.** Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография. М.: Энергоматиздат, 2008.
15. **Янсон Р.А.** Ветроустановки. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.

16. **Ныркоцкий А.В.** Возможности отечественного машиностроения и целесообразность трансферта зарубежных технологий для ВЭУ строения. Материалы экспертной встречи «Дорожные карты развития и внедрения технологий использования ВИЭ: состояние дел в России и мире» (21 июня 2011 г.), «ИНТЕРРАО», Москва. 2011.
17. **Грибков С.В.** Обзор производства малых ветроэнергетических установок в России: конструкции, применение. Матер. 1-й нац. конф. РАВИ, 2009 г., Москва.
18. **Понкратьев П.А.** Современное состояние, потенциал и перспективы развития ветроэнергетики в России. Матер. экспертной встречи «Дорожные карты развития и внедрения технологий использования ВИЭ: состояние дел в России и мире» (21 июня 2011 г.). М.: ИНТЕРРАО, 2011.
19. **Давидян Ж.Д.** Сопоставление синхронного и асинхронного генераторов по уровню потерь в условиях малых ГЭС // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2008. Т. LXI. № 3.
20. **Шефтер Я.И., Рождественский И.В.** Изобретателю о ветродвигателях и ветроустановках. М.: Изд-во Министерства сельского хозяйства СССР, 1957.
21. **Энергетика** Алтай. Ветер в сеть / Под ред. О.З. Енгоян. Барнаул: Изд-во АКОФ «Алтай-XXI век», 2008.
22. **Системные** свойства гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии / В.С. Афонин, А.Г. Васьков, Г.В. Дерюгина, М.Г. Тягунов, Т.А. Шестопалова // Энергоресурсосбережение и энергоэффективность. 2012. № 2.
23. **Bueno C., Carta J. A.** Wind powered pumped hydro storage systems. A means of increasing the penetration of renewable energy in the Canary Islands // Renewable Sustainable Energy Rev. Vol. 10. No. 4. Aug. 2006.
24. **Stefanos V. Papaefthymiou, Eleni G. Karamanou, Stavros A. Papathanassiou, Michael P. Papadopoulos.** A Wind-Hydro-Pumped Storage Station Leading to High RES Penetration in the Autonomous Island System of Ikaria // IEEE transactions on sustainable energy. Vol. 1. No. 3. Oct. 2010.
25. **Căpățână D., Stoian I., Vadan I., Sâncrăian N., Rogoz I.** The Pilot Station for Studying the Hybrid Wind-Hydro Power Plants - 2nd International conference on modern power systems MPS, 2008, 12–14 november 2008, Cluj-Napoca, Romania .
26. **Slootweg J.G.** Inside wind turbines - Fixed vs. variable speed / J.G Slootweg., E. de Vries // Renewable Energy World. 2003.
27. **Petersson A.** Analysis, Modeling and Control of Doubly-Fed Induction Generators for Wind Turbines. Goteborg, Sweden. 2005.
28. **Polinder H. Comparison** of Direct-Drive and Geared Generator Concepts for Wind Turbines / Polinder H., van der Pijl F.F.A., de Vilder G.-J., Tavner P. // IEEE International Conference on Electric Machines and Drives. San Antonio, TX, USA, December 5. 2005.
29. **Sang-Yong Jung** Optimal Design of Direct-Driven PM Wind Generator for Maximum Annual Energy Production / Sang-Yong Jung, Hochang Jung, Sung-Chin Hahn, Hyun-Kyo Jung, and Cheol-Gyun Lee // Transactions on magnetics. 2008. Vol. 44. № 6.
30. **Xikai Sun** Optimal Design of Double-Layer Permanent Magnet Dual Mechanical Port Machine for Wind Power Application / Xikai Sun, Ming Cheng, Wei Hua // IEEE transactions on magnetics. 2009. Vol. 45, № 10. PV Status Report / Arnulf Jdger-Waldau. European Commission Joint Research Centre Institute for Energy. EUR 24344 EN, august 2010.
31. **Амерханов Р.А.** Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии. М.: КолосС, 2003.
32. **Шамухин А.С.** Энергоснабжение в АПК на основе применения тепловых насосов / Энергосбережение и энергоснабжение в сельском хозяйстве. М.: Изд-во ВИЭСХ, 2006.
33. **Солнечное** тепло- и хладоснабжение и ветроэнергетические установки: методическое пособие / В.П. Мотулевич, Н.В. Калинин, А.Г. Спиридонов, и др. М.: Изд-во МЭИ, 2004.
34. **Харитонов В.П.** Автономные ветроэлектрические установки. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006.