**Задорожный Андрей Олегович Повышение энергетической эффективности работы ветроэнергетических установок на основе опыта эксплуатации ветропарка в Калининградской области**

ОГЛАВЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

кандидат наук Задорожный Андрей Олегович

Введение

Глава 1 Анализ проблем в области подключения и работы ветроэнергетических установок средней мощности в сетях среднего класса напряжения

1.1 Анализ развития ветроэнергетических установок средней мощности

1.2 Анализ нормативных документов, определяющих требования к работе ветроэнергетических установок в сетях среднего класса напряжения

1.3 Анализ работ в области оценки возможности подключения и совместной работы ветроэнергетических установок в составе электроэнергетической системы в сетях среднего класса

напряжения

Цели и задачи исследования

Глава 2 Анализ опыта эксплуатации ветропарка в Калининградской

области

2.1 Параметры и электрическая схема подключения ветропарка к электроэнергетической сети Калининградской энергосистемы

2.2 Анализ эксплуатационных режимов работы ветроэнергетической установки Wind World 4200/600

2.3 Анализ эксплуатационных режимов работы ветроэнергетической установки Vestas V27

2.4 Разработка программы для ЭВМ по расчёту параметров обледенения лопастей ветроэнергетических установок в

зависимости от метеорологических условий региона

Выводы по второй главе

Глава 3 Разработка математической модели электрической схемы подключения ветропарка к электроэнергетической системе Калининградской области

3.1 Анализ электроэнергетической системы Калининградской области

3.2 Разработка математической модели сложно-замкнутой электрической сети 60-110 кВ

3.3 Разработка математической модели разомкнутой электрической

сети среднего класса напряжения 15 кВ

Выводы по третьей главе

Глава 4 Разработка рекомендаций по повышению энергетической эффективности работы ветроэнергетических установок в сетях среднего класса напряжения на примере ветропарка в Калининградской области

4.1 Анализ режимов работы ветроэнергетических установок в составе ветропарка

4.2 Рекомендации по повышению энергетической эффективности

работы ветроэнергетических установок в составе ветропарка

Выводы по четвертой главе

Заключение

Список сокращений и условных обозначений

Список литературы

Приложение А Журналы отказов ВЭУ-225 за первый год эксплуатации

ветропарка

Приложение Б Документы, подтверждающие регистрацию прав интеллектуальной собственности на результаты диссертационного

исследования

Приложение В Акт внедрения результатов диссертационного

исследования

Приложение Г Однолинейная схема электрических сетей 60 кВ и выше базового варианта развития Калининградской области на 2018 - 2022 годы... 125 Приложение Д Пример расчёта системы линейных узловых уравнений для

одного из режимов работы I части ветропарка

Приложение Е Визуализация результатов расчёта систем линейных узловых уравнений методом Гаусса и методом обратной матрицы для некоторых режимов работы I части ветропарка, а также их сравнение с натурными показаниями измерений и результатами расчётов, полученных на модели разомкнутой электрической сети среднего класса напряжения 15 кВ в составе модели сложно-замкнутой электрической сети 60-110 кВ.... 133 Приложение Ж Справка о внедрении результатов диссертационного исследования

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Ветроэнергетика - одна из самых быстроразвивающихся отраслей электроэнергетики. Суммарная установленная мощность всех ВЭУ на конец 2018 года в мире достигла 600 ГВт, что обеспечивает 6% от мирового электропотребления. В частности, в Дании, ВЭУ производят более 43% потребляемой электроэнергии. Суммарная установленная мощность ВЭУ в России составляет 0,144 ГВт, при установленной мощности энергосистемы 243,2 ГВт. В энергетической стратегии Российской Федерации до 2030 года одной из основных проблем формирования рационального топливно-энергетического баланса указано недостаточно активное развитие возобновляемой энергетики и использования местных видов топлива в региональных энергетических балансах, и поставлена задача формирования долгосрочной политики развития возобновляемых источников энергии. Распоряжением Правительства РФ «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе возобновляемых источников энергии на период до 2024 года» поставлена задача увеличения объёма производства и потребления электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии до 4,5% к 2024 году. Величина объёма ввода установленной мощности генерирующих объектов, функционирующих на основе энергии ветра, к 2024 году должна составить 3,28 ГВт, что составляет более 60% от суммарного планируемого объёма ввода мощностей на базе всех видов возобновляемых источников энергии в Российской Федерации. Кроме того, в соответствии с законодательством Российской Федерации по поддержке возобновляемых источников энергии уровень локализации ветропарков в России с 2019 года должен составлять не менее 65%, что означает необходимость активного развития отечественного ветроэнергетического промышленного сектора по производству ВЭУ всех классов мощности. В частности, для России, имеющей огромные территории с холодным климатом и в тоже время большим ветроэнергетическим потенциалом (начиная со среднегодовых значений удельной

мощности ветрового потока от 400 Вт/м2), представляет интерес применение ВЭУ средней мощности (от 100 кВт до 1 МВт).

Однако, недостаточная изученность вопросов функционирования ВЭУ средней мощности и отсутствие в действующих российских государственных стандартах и нормативных документах требований по подключению и работе ВЭУ в составе электроэнергетических систем является актуальной проблемой и затрудняет развитие отечественной ветроэнергетики.

Для достижения поставленных перед государством целей необходим анализ опыта эксплуатации уже действующих ВЭУ в составе ветропарков. В Калининградской области с 2002 года функционирует ветропарк, состоящий из 21 ВЭУ, суммарной установленной мощностью 5,1 МВт. Таким образом, ветропарк предоставляет уникальную возможность для анализа опыта эксплуатации и проведения комплексных теоретических и экспериментальных исследований режимов работы ВЭУ для повышения энергетической эффективности их функционирования в составе электроэнергетических систем, что является актуальной задачей для развития отечественной ветроэнергетики, и в перспективе позволит развить производство отечественных ВЭУ средней мощности.

Степень проработанности темы. Проблемам, связанным с вопросами подключения, функционирования и повышения энергетической эффективности работы ВЭУ средней мощности и ветропарков на их основе в составе электроэнергетических систем, ввиду более высокого уровня развития ветроэнергетики зарубежом, посвящены в основном работы иностранных авторов: J. Slootweg, T. Thiringer, N. Hatziargyriou, P. Rosas, T. Ackermann, F. Santjer, A.G. Abo-Khalil, Md. A. Chowdhury и других. Однако в работах перечисленных авторов в основном оценивается влияние работы ветропарков на базе ВЭУ средней мощности на параметры электрической сети только в точке подключения к распределительным сетям среднего класса напряжения, но не рассматриваются вопросы влияния на параметры сложно-замкнутой электрической сети высокого класса напряжения в узлах связи с распределительной сетью, на параметры сети в которых в зависимости от технических характеристик подключаемого ветропарка