

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Иркутский национальный исследовательский
технический университет»,
доктор технических наук, доцент

Корняков Михаил Викторович

2020 г.



ведущей организации - Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский университет» на диссертационную работу Ерошенко Станислава Андреевича на тему «Краткосрочное прогнозирование и планирование режимов фотоэлектрических электростанций» по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы на соискание ученой степени кандидата технических наук

Актуальность темы диссертационной работы

Государственное стимулирование развития возобновляемых источников энергии привело к постановке важной научной и отраслевой проблемы планирования режимов электроэнергетических систем в краткосрочной и долгосрочной перспективе с учетом особенностей функционирования генерирующих объектов такого типа. В рамках долгосрочной перспективы на сегодняшний день в России формируются схемы и программы развития энергосистем, принимаются решения по предотвращению дефицитов электрической энергии, формированию схем размещения и структуры генерирующих мощностей, использующих как углеводородные, так и возобновляемые источники энергии. Решение задачи выбора оптимального местоположения генерирующих объектов неразрывно связано с необходимостью разработки новых эффективных методов и алгоритмов. При этом важно понимать, что этапом, следующим за сооружением электрической станции, является ее эксплуатация, в процессе которой требуются решения вопросов краткосрочного планирования режимов работы основного генерирующего оборудования. Актуальность темы диссертационного исследования обусловлена необходимостью разработки

эффективных методов и алгоритмов прогнозирования выработки электрической энергии объектами генерации на возобновляемых источниках энергии в целом и фотоэлектрическими электростанциями в частности, а также необходимостью поиска оптимальных мест размещения электростанций на возобновляемых источниках энергии с учетом технологических ограничений прилегающей электрической сети и природных географических особенностей рассматриваемой территории.

Актуальность работы также подтверждается современными отраслевыми потребностями. В настоящее время, в соответствии с действующими нормативно-техническими документами, планирование выработки электроэнергии объектами генерации, функционирующими на основе возобновляемых источников, базируется на формировании долгосрочных и краткосрочных балансов электроэнергии на основании ретроспективных данных за последние годы. Учитывая стохастичный характер выработки электрической энергии на объектах генерации такого типа, задачу формирования устойчивых прогнозов режимов их работы в современных условиях можно охарактеризовать как глобальную отраслевую проблему. Более того, на сегодняшний день в целях обеспечения балансовой надежности энергосистем, установленная мощность генерации, функционирующей на основе возобновляемых источников энергии, в полном объеме резервируется на углеводородных электростанциях из-за возможного группового снижения мощности, вызванного резкопеременным характером метеорологических явлений, что приводит к снижению эффективности функционирования всего парка генерирующего оборудования.

Все это определяет актуальность проведенного в диссертационной работе исследования и подтверждает необходимость создания эффективных инструментов, обеспечивающих гармоничное внедрения фотоэлектрических станций в электроэнергетические системы.

Цель и задачи работы

Целью диссертационной работы является разработка новых и совершенствование существующей подходов и методов для решения задач эффективного размещения электростанций на основе возобновляемых источников энергии, краткосрочного и оперативного прогнозирования выработки электрической энергии фотоэлектрическими электростанциями с использованием методов машинного обучения, в том числе для предотвращения формирования избыточного резерва мощности в энергосистеме.

Задачами диссертационной работы являются:

1. Анализ существующих методов и подходов к размещению генерирующих объектов на основе возобновляемых источников энергии.
2. Разработка модели эффективного размещения генерирующих объектов, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии.
3. Разработка моделей краткосрочного и оперативного прогнозирования генерации электрической энергии фотоэлектрическими станциями.
4. Анализ влияния режимов работы фотоэлектрических станций на резервы мощности электроэнергетической системы.

Анализ содержания диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, одного приложения. Работа представлена на 212 страницах машинописного текста, содержит 63 таблицы и 57 рисунков. В списке литературы представлено 176 библиографических наименований.

Во введении к диссертационной работе представлено обоснование актуальности темы исследования, определены объект и предмет исследования, цели и задачи работы, сформулирована научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор существующих научных подходов к планированию развития электроэнергетических систем в России и за рубежом, определена специфика и область применения имеющихся разработок, подробно описаны ключевые тенденции в разработке моделей оптимального развития топливно-энергетического комплекса. Автор подробно анализирует существующую в России отраслевую модель перспективного развития электроэнергетических систем, включая вопросы внестадийного проектирования схем выдачи мощности генерирующих объектов. В данной главе также представлены результаты аналитического исследования международного опыта и мировых стандартов, регламентирующих технические требования при технологическом присоединении объектов генерации на возобновляемых источниках энергии к электрическим сетям.

Во второй главе представлено подробное описание разработанной модели оптимального размещения генерирующих мощностей на основе

возобновляемых источников энергии, включая: постановку задачи, организационные и отраслевые особенности решаемой задачи, перечень исходных данных. Предлагаемое автором решение задачи оптимального развития генерации на возобновляемых источниках энергии основано на многослойной модели технологических и географических карт, имеющих координатную привязку, за счет чего реализуется связь вариантов сооружения объектов генерации, формируемых в ходе генетического поиска, с блоками исходных данных о технических ограничениях существующей электрической сети, энергетическом потенциале тех или иных видов возобновляемых источников энергии. В качестве меры эффективности вариантов сооружения объектов генерации автор использует показатель «полезности», граничные значения которой определены для каждого из параметров групп технических, экономических и экологических показателей. Методика оценки полезности берет за основу метод анализ иерархий Томаса Саати и реализуется с использованием равномерной шкалы от 1 до 9 баллов. В главе представлено подробное математическое описание параметров, используемых в ходе оптимизационного процесса, а также методики оценки энергетического потенциала рассматриваемых видов возобновляемых источников энергии. Апробация предложенной автором методики выполнена на основе электроэнергетической системы Свердловской области.

В третьей главе рассмотрены задачи краткосрочного и оперативного прогнозирования режимов работы фотоэлектрических станций. Автором представлен подробный обзор существующих в России и за рубежом научных подходов к прогнозированию выработки электроэнергии на фотоэлектрических станциях, определены количественные и качественные характеристики имеющихся методик, область их применения. В данной главе автор подробно рассматривает физику распространения солнечного излучения в атмосфере Земли в зависимости от сезона и времени суток, имитационную модель фотоэлектрической станции с возможностью учета нелинейных элементов как на стороне постоянного, так и на стороне переменного тока. В ходе анализа исходных данных в диссертационной работе определен состав значимых признаков (предикторов), сформирована регрессионная модель. Существенное внимание в работе уделено вопросу обоснования метрики ошибки прогноза, которая имеет свою специфику при подборе параметров регрессионной модели и оценке качества прогноза. Модель оперативного прогноза формируется на основе ансамблевого метода машинного обучения – градиентного бустинга над деревьями решений. Апробация разработанных выполнена на основе исходных данных, полученных с реальной функционирующей фотоэлектрической станции.

В четвертой главе представлена методика определения резервов активной мощности в электроэнергетической системе, основанная на оценке риска возникновения небаланса активной мощности. Автор диссертации наглядно демонстрирует как повышение точности прогнозирования выработки электроэнергии на фотоэлектрических станциях может способствовать повышению эффективности определения объемов и размещения резервов активной мощности.

В заключении к диссертационной работе представлены основные выводы и результаты исследования.

Приложение А содержит копии актов о внедрении результатов диссертационной работы в деятельность компании ООО «Прософт-системы», а также в образовательный процесс на факультете энергетики НГТУ и в УрФУ.

Соответствие содержание автореферата содержанию диссертации

Содержание автореферата в полном объеме соответствует содержанию представленной диссертационной работы.

Сформулированные положения научной новизны и практической значимости раскрывают основные полученные результаты и сделанные в работе выводы.

Научная новизна диссертационной работы

В ходе проведенного исследования автором получены следующие результаты, составляющие научную новизну диссертационной работы:

1. Разработана многопараметрическая математическая модель оптимизации размещения объектов генерации в электроэнергетических системах с увеличенной долей возобновляемых источников энергии, реализованная на картах технологического районирования с использованием генетического алгоритма с встроенным блоком оценки полезности реализации вариантов сооружения генерирующих объектов на базе метода анализа иерархий Саати.

2. Получено и обосновано решение задачи эффективного размещения генерирующих объектов в энергосистеме с большой долей возобновляемых источников энергии с учетом технических ограничений прилегающей электроэнергетической системы, энергетического потенциала возобновляемых источников энергии, экономической эффективности вариантов и их влияния на окружающую среду.

3. Разработаны новые математические модели и алгоритмы краткосрочного и оперативного прогнозирования генерации электроэнергии

фотоэлектрическими станциями, основанные на статистических методах, методах машинного обучения, законах распространения солнечного излучения в атмосфере и его пространственно-временных характеристиках с учетом природно-географических и метеорологических особенностей территории, структуры схемы выдачи мощности объекта генерации, характеристик основного оборудования.

4. Предложена методика оценки необходимых резервов активной мощности в энергосистеме с большой долей возобновляемых источников энергии, основанная на оценке рисков возникновения небаланса активной мощности.

Степень достоверности и обоснованности научных положений и выводов

Научная обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы подтверждается корректным использованием математических методов, в частности биоинспирированных методов оптимизации для решения дискретной многопараметрической задачи размещения объектов генерации, методов множественной регрессии и ансамблевых алгоритмов машинного обучения для прогнозирования режимов работы соответствующего генерирующего оборудования. Апробация предложенных моделей на основе существующей электроэнергетической системы, а впоследствии внедрение для реальной фотоэлектрической станции также свидетельствуют о высоком уровне достоверности представленных научных результатов и выводов.

Основные результаты и положения диссертации неоднократно докладывались и обсуждались на различных российских и международных конференциях и семинарах, где прошли неоднократную апробацию, были представлены на научно-техническом совете Единой энергетической системы, а также опубликованы в 13 работах, 3 из которых входят в перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (перечень ВАК РФ), 10 статей в научных изданиях, индексируемых в наукометрических базах данных Scopus и Web of Science.

Личный вклад автора не вызывает сомнений.

Значимость результатов и выводов для науки и практики

Практическая значимость результатов работы заключается в создании эффективных методик и инструментов для решения задач размещения электростанций на основе возобновляемых источников энергии, разработке

моделей краткосрочного прогнозирования генерации электрической энергии фотоэлектрическими станциями в электроэнергетических системах с использованием методов машинного обучения, что позволяет повышать точность прогнозирования выработки электрической энергии за счет анализа ретроспективных данных, что в результате позволяет повысить эффективность определения требуемых объемов и мест размещения резервов активной мощности в энергосистеме. Предложенные подходы позволяют получить обоснованные сценарии размещения фотоэлектрических станций с учетом географических, климатических особенностей рассматриваемых территорий и технологических особенностей функционирования существующей энергосистемы, а также снизить степень неопределенности при краткосрочном планировании режимов электроэнергетических систем.

Практическая ценность результатов диссертационной работы подтверждается актом внедрения результатов в деятельность компаний ООО «Прософт-Системы», апробацией полученных моделей прогнозирования выработки электрической энергии на основе данных систем коммерческого учета электрической энергии действующей фотоэлектрической станции Оренбургской энергосистемы и последующим внедрением полученных моделей прогнозирования на реальной фотоэлектрической станции в Астраханской области.

Апробация и внедрения результатов диссертационного исследования на нескольких географически удаленных генерирующих объектах свидетельствует об универсальности разработанных моделей.

Рекомендации по использованию результатов

Считаем, что результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы к апробации в организациях, относящихся к субъектам оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, в проектных организациях для технико-экономического обоснования сооружения объектов генерации, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии, для проектирования схем выдачи мощности электростанций.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

Диссертационная работа Ерошенко Станислава Андреевича «Краткосрочное прогнозирование и планирование режимов фотоэлектрических электростанций» по своему содержанию соответствует паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы, а именно пунктам:

П.1 «Оптимизация структуры, параметров и схем электрических соединений электростанций»;

П.6 «Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике»;

П.13 «Разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике».

Вопросы и замечания

- 1) После ознакомления с диссертационной работой в целом и с разделом 3 в частности возник вопрос о типе рассмотренных в настоящей работе фотоэлектрических панелей. Не ясно, были ли рассмотрены кристаллические или тонкопленочные элементы? И имеет ли это значение для решаемой задачи?
- 2) На стр. 71 в первом абзаце утверждается, что трекары направления солнца снижают надежность эксплуатации в холодных условиях. Соответственно, возникает два вопроса:
 - a. В случае использования солнечных трекаров, какие изменения потребуется внести в представленную в диссертационной работе модель краткосрочного прогнозирования выработки электрической энергии на фотоэлектрической станции?
 - b. Насколько может быть целесообразным в принципе размещение фотоэлектрической станции в районах с возможным обледенением поверхности?
- 3) С точки зрения использования представленной в диссертации методики оценки полезности сооружения генерирующих объектов на возобновляемых источниках энергии следует отметить, что различные территориальные объединения могут иметь другие виды перспективных энергетических ресурсов, не рассмотренных в представленной работе, в частности гидроресурсы.
- 4) В качестве рекомендации для будущей работы автору целесообразно рассмотреть другие источники исходных данных, к примеру, данных дистанционного зондирования Земли (спутниковые снимки) и оценить эффективность их применения с точки зрения снижения ошибки прогноза режимов генерации на возобновляемых источниках энергии.

5) По ходу диссертационной работы встречается редакционная опечатка: используются оба варианта написания «е» и «ё».

Представленные замечания не снижают научной и практической ценности диссертационного исследования и могут рассматриваться как пожелания для улучшения последующих работ автора.

Общее заключение

Диссертационная работа Ерошенко Станислава Андреевича является законченной научно-исследовательской работой, в которой на основании выполненных автором исследований представлено решение актуальной задачи по совершенствованию существующих и разработке новых методов планирования и прогнозирования режимов работы фотоэлектрических станций.

В диссертационной работе подробно раскрыты положения, выносимые на защиту. Предложенные решения обладают научной новизной, имеют практическое значение для отрасли, в достаточной степени аргументированы.

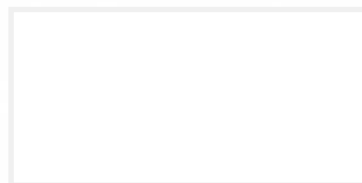
Диссертационная работа «Краткосрочное прогнозирование и планирование режимов фотоэлектрических электростанций» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно п. 9 - 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842.

Диссертационная работа изложена в четырех главах на 212 страницах машинописного текста. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации. Основные выводы и положения диссертационной работы отражены в 13 печатных работах автора, 3 из которых опубликованы в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых изданий ВАК РФ. Публикации автора в полной мере отражают основные результаты исследований, которые были апробированы на научных конференциях.

Таким образом, представленная научная работа полностью соответствует требованиям Высшей аттестационной комиссии РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Ерошенко Станислав Андреевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы».

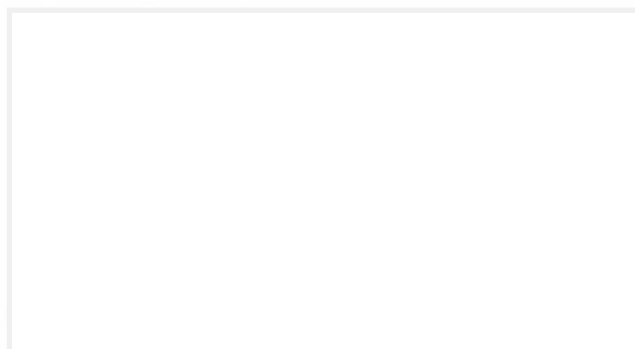
Диссертационная работа Ерошенко Станислава Андреевича была заслушана и обсуждена на совместном заседании кафедр «электрических станций, сетей и систем» и «Электроснабжения и электротехники» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский университет» (протокол № 3 от «23» ноября 2020 г.)


Доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
Электропривода и электрического
транспорта федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования «Иркутский
национальный исследовательский
технический университет»



/ Дунаев Михаил Павлович /

23.11.2020г.



Копия получена 09.12.2020г. С.А. Крашенин С.А.
С отзавом ознакомлен 09.12.2020г.  Крашенин С.А.