

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.173.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНОБРНАУКИ РФ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24 декабря 2020 г. протокол №5

О присуждении Ерошенко Станиславу Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация на тему «Краткосрочное прогнозирование и планирование режимов фотоэлектрических электростанций» **по специальности** 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы принята к защите 22 октября 2020 г., протокол № 14 диссертационным советом Д 212.173.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ, 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, приказ о создании диссертационного совета №156/нк от 01.04.2013 г.

Соискатель Ерошенко Станислав Андреевич 1987 года рождения. В 2011 году соискатель окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» по направлению «Электроэнергетика», специализация «Электроэнергетические системы, сети, электропередачи, их режимы, устойчивость, надежность» с присуждением степени магистра техники и технологии. В 2015 году он завершил обучение в очной аспирантуре в Федеральном автономном образовательном учреждении высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», Минобрнауки РФ. Срок обучения в аспирантуре с 01.11.2011 года по 31.10.2015 г.

С 2011 года Ерошенко С.А. работает в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», в настоящее время работает на кафедре «Автоматизированных электрических систем» в должности старшего преподавателя. С 2020 года по настоящее время работает по совместительству на кафедре Электрических станций Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» в должности старшего преподавателя.

Диссертация выполнена на кафедре автоматизированных электрических систем Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки РФ, и на кафедре электрических станций Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ.

Научный руководитель – Манусов Вадим Зиновьевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра Систем электроснабжения предприятий, профессор.

Официальные оппоненты:

Обухов Сергей Геннадьевич, доктор технических наук, доцент, профессор Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Бубенчиков Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет».

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский

национальный исследовательский технический университет» (ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»), г. Иркутск **в своем положительном заключении**, подписанном Дунаевым Михаилом Павловичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры электропривода и электрического транспорта Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», и утвержденном Корняковым Михаилом Викторовичем, доктором технических наук, доцентом, ректором университета, указала, что диссертация С.А. Ерошенко является законченной научно-исследовательской работой, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 13 работ, из которых 3 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 10 статей в материалах конференций и в журналах, индексируемых в международных базах научного цитирования Scopus и Web of Science. Недостоверные сведения об опубликованных работах отсутствуют. Авторский вклад в опубликованных в соавторстве работах составляет не менее 70%. Общий объем публикаций – 4,3 п. л.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Научные статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК

1. Ерошенко, С. А. Разработка адекватных технических условий для технологического присоединения генерирующих объектов малой мощности к электрической сети / П.М. Ерохин, С.А. Ерошенко, А.В. Паздерин, В.О. Самойленко, А.Л. Рывлин, С.А. Стерлягова // Промышленная энергетика, 2016. - № 2. - С. 6-12.

2. Ерошенко, С. А. Технические вопросы подключения малой генерации на параллельную работу с энергосистемой / С.А. Ерошенко, А.И. Хальясмаа, С.А. Дмитриев, А.В. Паздерин, А.А. Карпенко // Журнал "Научное обозрение", 2013. - №6 - С. 49-56.

3. Ерошенко, С. А. Анализ технической реализуемости присоединения установок малой генерации на параллельную работу с сетью

электросетевой компании / С.А. Ерошенко, А.И. Хальясмаа, С.А. Дмитриев // Журнал "Энергетика Татарстана", 2013 - №3(31) - С. 51-56.

Публикации, входящие в наукометрические базу данных Web of Science:

4. Eroshenko, S.A. Comparison study of wind flow velocity short-term forecasting methods based on adaptive models and neural networks / V.Z. Manusov, S.A. Eroshenko, P.V. Matrenin, E.A. Igumnova, G.B. Nesterenko // International Journal of Advanced Science and Technology, 29 (8 Special Issue), 2020. – pp. 2108-2115.

5. Eroshenko, S.A. Solar Power Plant Generation Short-Term Forecasting Model / S.A. Eroshenko, E.S Kochneva, P.A. Kruchkov, A.I. Khalyasmaa // MATEC Web of Conferences, 2018. – № 208 04004.

6. Eroshenko, S.A. Very-short term solar power generation forecasting based on trend-additive and seasonal-multiplicative smoothing methodology / S.A. Eroshenko, A.I. Khalyasmaa, R.T. Valiev // E3S Web of Conferences, 2018. – № 51 02003.

7. Eroshenko, S.A. Weather data errors analysis in solar power stations generation forecasting / S.A. Eroshenko, A.I. Khalyasmaa // E3S Web of Conferences, 2018. - № 51 02002.

8. Eroshenko, S.A. Assessment of the learning sample size and pattern impact on the SPS generation short-term forecasting / S.A. Eroshenko, A.I. Khalyasmaa // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering - EIconRus, 2018. - pp. 617-621.

9. Eroshenko, S.A. Algorithmic realization of short-term solar power plant output forecasting / D.A. Snegirev, S.A. Eroshenko, R.T. Valiev, A.I. Khalyasmaa // Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems - CTS'2017, 2017. - pp. 228-231.

10. Eroshenko, S.A. Intelligent model of decision support system of distributed generation integration / S.A. Eroshenko, A.I. Khalyasmaa // Proceedings of the IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science - ICSESS, 2017. - pp. 79-82.

На диссертацию и автореферат поступило 12 отзывов, все отзывы положительные:

1. ФГБУН «Институт энергетических исследований Российской академии наук», главный научный сотрудник, руководитель Центра

«Интеллектуальные электроэнергетические системы и распределенная энергетика», к.т.н П.В. Илюшин – замечания о целесообразности рассмотрения сетей 35 кВ для подключения объектов распределенной генерации, необходимости уточнения способа расчета установившегося режима электроэнергетической системы и обоснования метрик ошибки при оценке качества прогноза режимов работы фотоэлектрических станций.

2. **ООО «РТСофт-Смарт Грид»**, директор по развитию бизнеса, ученый секретарь Российского национального комитета СИГРЭ D2, к.т.н К.А. Никишин – замечания о необходимости уточнения принципов усреднения ошибки в моделях прогнозирования, дополнения описания метеорологических условий, используемых для обучения моделей, и принципов учета технологических ограничений электрической сети в модели оптимизации точки подключения и мощности генерирующих объектов.

3. **ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»**, профессор кафедры теоретических основ электротехники и релейной защиты и автоматики, доцент, д.т.н В.И. Антонов – замечания о необходимости свертки коэффициентов функции регрессии при расчете краткосрочного прогноза «на сутки вперед», целесообразности обоснования слабой степени влияния метеорологических условий на качество оперативного прогноза режима работы фотоэлектрической станции.

4. **ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»**, доцент кафедры Электрических станций им. В.К. Шибанова, доцент, к.т.н. Ю.Н. Зацаринная – замечания о целесообразности апробации предложенных алгоритмов и методик на базе одной электроэнергетической системы, об обосновании выбора языка программирования для реализации описанных математических моделей и методов.

5. **ПАО «Россети»**, заместитель начальника департамента международного сотрудничества К.А. Осинцев – замечания об учете трудно-формализуемых факторов в модели прогнозирования режимов работы фотоэлектрических электростанций, о влиянии временного разрешения и глубины обучающей выборки на результат прогнозирования.

6. **Таджикский технический Университет имени академика М.С. Осими**, декан энергетического факультета, доцент, к.т.н. Л.С. Касобов – замечания о целесообразности учета влияния загрязнения и осадков на эффективность функционирования фотоэлектрических панелей, о влиянии

удаленности метеорологических постов на качество прогноза режимов работы фотоэлектрических станций.

7. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», директор центра НТИ, доцент, к.т.н., А.А. Волошин – замечания о необходимости планирования развития электрической сети при размещении объектов генерации, о математической реализации метода прогнозирования выработки фотоэлектрических станций, необходимости сравнения предложенного метода прогнозирования с аналогами, а также о необходимости учета аварийного отключения традиционной генерации совместно с фотоэлектрической станцией в модели расчета резервов активной мощности.

8. Рижский технический университет, ассоциированный профессор кафедры управления и оптимизации энергосистем факультета электротехники и инженерной экологии, доктор инженерных наук (Dr.sc.ing.) Д.А. Жалостиба – замечания о необходимости обоснования выбора метода градиентного бустинга над деревьями решений для задач прогнозирования и генетического алгоритма для решения задачи оптимизации местоположения и мощности объектов генерации.

9. Белорусский национальный технический университет, профессор кафедры «Электрические системы», профессор, д.т.н. М.А. Короткевич – замечания о необходимости детализации выводов о влиянии механизмов поддержки развития ВИЭ на результаты оптимизации размещения, о результирующей ошибке прогнозирования выработки фотоэлектрических станций, в том числе в условиях нестационарных погодных условий.

10. НЧОУ ВО «Технический университет УГМК», заведующая кафедрой энергетики, доцент, к.т.н. С.В. Федорова – замечания о целесообразности дополнительного расчета прогнозов выработки фотоэлектрической электростанции «без истории и с метеоданными», о допустимом уровне эквивалентирования энергосистемы при расчетах электрических режимов.

11. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», доцент отделения электроэнергетики и электротехники инженерной школы энергетики, к.т.н. А.В. Прохоров – замечания о необходимости уточнения информации о размерности модели региональной электроэнергетической системы, о равнозначности параметров в модели оптимизации размещения генерации на основе возобновляемых

источников энергии, о режимах работы тепловых электрических станций в региональной электроэнергетической системе в задаче оптимизации.

12. **АО «НТЦ ФСК ЕЭС»**, заместитель научного руководителя, действительный член Электротехнической Академии наук РФ, Заслуженный работник Минтопэнерго РФ, профессор ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», д.т.н. Н.Л. Новиков – замечания о необходимости учета рельефа местности при выборе местоположения генерирующего объекта и о целесообразности классификации различных типов фотоэлементов при создании имитационной модели электростанции в задаче прогнозирования выработки электрической энергии.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем что, область научных интересов доктора технических наук **С.Г. Обухова** связана с повышением эффективности интеграции генерирующих объектов на основе возобновляемых источников энергии в электроэнергетические системы и совершенствованием подходов к их управлению, в том числе путем имитационного моделирования и прогнозирования режимов работы солнечных и ветровых электрических станций, он имеет большое количество публикаций по близкой к диссертационной работе тематике, представленной к защите; сфера научных интересов и тематика исследований кандидата технических наук **А.А. Бубенчикова** связана в значительной степени с оценкой энергетического потенциала и технической эффективности применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в региональных электроэнергетических системах, он также имеет значительное количество публикаций, близких по тематике представленной к защите диссертационной работе.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ФГБОУ ВО «ИРНИТУ») – один из крупнейших ВУЗов России, готовящих ученых и выпускающих специалистов в области электроэнергетики и электротехники. На кафедре электроснабжения и электротехники института энергетики ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» активно занимаются проблематикой по теме представленной к защите диссертационной работы, а именно вопросами моделирования режимов работы и оценки надежности электроэнергетических систем с возобновляемыми источниками энергии, системами управления

ветроэнергетическими и фотоэлектрическими генерирующими объектами, прогнозированием влияния факторов внешней среды на режимы работы генерирующих объектов, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии, что подтверждается трудами ведущих ученых и специалистов кафедры и института.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны новые научные подходы к оптимальному размещению и прогнозированию режимов работы источников генерации на основе фотоэлектрических преобразователей, обогащающие научную концепцию перехода к безуглеродным электроэнергетическим системам;

предложена оригинальная многопараметрическая модель оптимизации размещения генерирующих объектов, построенная на основе метода анализа иерархий и генетического алгоритма, и модели прогнозирования генерации фотоэлектрических станций с целью эффективного планирования режимов энергосистем на базе методов машинного обучения;

доказана перспективность использования предложенных моделей в задачах оптимизации размещения генерирующего оборудования и краткосрочного планирования режимов региональных электроэнергетических систем, подтвержденная успешным опытом внедрения;

введены новые понятия - не введены;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана применимость предложенных моделей для эффективного размещения объектов генерации на основе возобновляемых источников энергии и краткосрочного прогнозирования генерации фотоэлектрических станций, расширяющих границы использования возобновляемых источников энергии при планировании режимов электроэнергетических систем;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы искусственного интеллекта и машинного обучения и обосновано их преимущество в определении глобального оптимума целочисленных многоэкстремальных задач и повышения точности прогнозирования за счет обработки разнородных данных большого объема;

изложены аргументы, отражающие целесообразность комплексного учёта генерации на основе возобновляемых источников энергии в задачах

планирования развития и прогнозирования режимов работы электроэнергетических систем;

раскрыта причина недостаточно эффективного учета генерации на основе возобновляемых источников энергии в существующей системе краткосрочного планирования и управления режимами электроэнергетических систем;

изучены причинно-следственные связи, влияющие на режимы работы фотоэлектрических станций и на точность прогнозирования их генерации с учётом воздействия внешних трудно формализуемых факторов;

проведена модернизация существующих подходов к размещению генерирующих объектов в региональных энергосистемах, а также существующих правил учета возобновляемых источников энергии в задачах планирования режимов и определения резервов активной мощности энергосистем.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана и внедрена система краткосрочного прогнозирования генерации фотоэлектрических электростанций в составе программного комплекса интеллектуального учета «Энергосфера» ООО «Прософт-системы» на реальной функционирующей солнечной электростанции «Заводская» (Астраханская область). Разработанные модели и методы используются в рамках лабораторных и практических занятий в курсе «Электроэнергетические системы и управление ими» в Новосибирском государственном техническом университете и в рамках практических занятий образовательной программы дополнительного образования «Весенний университет», модуль «Машинное обучение в энергетике», реализуемой на английском языке в Уральском федеральном университете;

определены перспективы практического использования предложенных моделей для задач краткосрочного планирования режимов электроэнергетических систем, в том числе для повышения эффективности эксплуатации традиционных тепловых электрических станций путем более эффективного планирования резервов активной мощности в энергосистеме;

создана вероятностная модель оценки риска нарушения баланса мощности в электроэнергетических системах с возобновляемыми источниками энергии;

представлены практические рекомендации по реализации систем краткосрочного прогнозирования генерации фотоэлектрических станций в отношении сбора и обработки первичных данных, использования результатов прогноза генерации фотоэлектрических станций в задачах краткосрочного планирования режимов электроэнергетических систем.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ - не выполнялась;

теория построена на корректном использовании эвристических методов оптимизации, математических методов поддержки принятия решения, методов машинного обучения и теории вероятности, результаты вычислительных экспериментов согласуются с опубликованными другими авторами теоретическими и экспериментальными результатами по данной теме, а также с экспертными оценками, полученными в ходе апробации работы;

идея базируется на анализе фактических условий развития, функционирования и прогнозирования генерации фотоэлектрических станций с учетом стохастического характера плотности потока энергии солнечного излучения, высокой степени неопределенности исходной метеорологической информации, технологической связности процессов производства, передачи и потребления электрической энергии.

использованы официальные данные о схемах и программах развития региональных электроэнергетических систем, данные об энергетическом потенциале возобновляемых источников энергии для рассматриваемой энергосистемы, сравнение авторских результатов с результатами, полученными ранее в рамках российских и зарубежных исследований по прогнозированию генерации фотоэлектрических станций;

установлено качественное совпадение результатов, полученных автором, с результатами, опубликованными в научных статьях по тематике диссертационной работы;

использованы современные средства компьютерного моделирования, методы статистической обработки и системного анализа данных.

Личный вклад соискателя заключается в разработке системы параметров модели определения степени полезности реализации проектов в

области возобновляемой энергетики на основе метода анализа иерархий, структуры генетического алгоритма поиска оптимальных вариантов развития возобновляемой энергетики для региональной энергосистемы, математических моделей краткосрочного и оперативного прогнозирования генерации фотоэлектрических станций, создании модели исходных данных, обобщении и анализе полученных результатов. При подготовке основных публикаций по выполненной работе вклад соискателя в статьях, выполненных в соавторстве, составляет не менее 70%.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области внедрения и функционирования генерирующих объектов на основе возобновляемых источников энергии в электроэнергетических системах, и соответствует пп. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 24 декабря 2020 г. диссертационный совет принял решение присудить Ерошенко С.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 9 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, дополнительно введенных на разовую защиту нет, проголосовали: за 16, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета

А. Г. Фишов

Ученый секретарь диссертационного совета

А. А. Осинцев

24 декабря 2020 г.