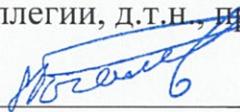




**Некоммерческое партнерство  
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ  
Единой энергетической системы»**

109044 г. Москва, Воронцовский пер., дом 2  
Тел. (495) 912-1078, 912-5799, факс (495) 632-7285  
E-mail: [dtv@nts-ees.ru](mailto:dtv@nts-ees.ru), <http://www.nts-ees.ru/>  
ИНН 7717150757

**УТВЕРЖДАЮ**  
Председатель Научно-технической  
коллегии, д.т.н., профессор

  
Н.Д. Рогалев

«21» мая 2018 г.

## **ПРОТОКОЛ №2**

заседания секции «Распределенные источники энергии» НП «НТС ЕЭС»  
по рассмотрению доклада по теме:

**«Разработка адаптивной системы краткосрочного и оперативного  
прогнозирования выработки электроэнергии фотоэлектрическими  
станциями на основе физико-статистических и интеллектуальных  
методов»**

29 марта 2018 года

г. Москва

**Присутствовали:** члены секции «Распределенные источники энергии» НП «НТС ЕЭС», сотрудники «НИУ «МЭИ», АО «Техническая инспекция ЕЭС», ООО «ВИЭСХ – ВИЭ», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ), АО «ЭНИН», ООО «Пауэр Сервисез», ООО «Авелар Солар Технолоджи», АО «РТСофт» всего 17 чел.

Со вступительным словом выступил председатель секции «Распределенные источники энергии», проректор по научной работе ФГАОУ ДПО «ПЭИПК», к.т.н. Илюшин П.В.

Во вступительном слове отмечена актуальность и многогранность вопросов, связанных с развитием генерирующих установок (далее – ГУ) на базе возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ). При этом особого внимания заслуживают вопросы, связанные с режимным управлением электроэнергетической системой, краткосрочным и оперативным планированием выработки электрической энергии ГУ на базе ВИЭ. Это напрямую влияет на выбор подходов к определению величины и мест размещения резервов генерирующих мощностей на традиционных электростанциях для регулирования частоты и перетоков активной мощности в электроэнергетической системе.

Отдельного внимания заслуживают вопросы функционирования

существующей модели оптового рынка электрической энергии и мощности при появлении новых участников – объектов ВИЭ, а также участия этих объектов в соответствующих рыночных процедурах.

Отмечена необходимость в обеспечении собственников объектов ВИЭ, диспетчерских центров и электросетевых компаний современными информационно-аналитическими комплексами, позволяющими осуществлять краткосрочное и оперативное планирование режимов электроэнергетической системы с учетом выработки объектами на базе ВИЭ, а также планирование режимов работы и технического обслуживания оборудования солнечных электростанций (далее – СЭС).

С докладом **«Разработка адаптивной системы краткосрочного и оперативного прогнозирования выработки электроэнергии фотоэлектрическими станциями на основе физико-статистических и интеллектуальных методов»** выступил ведущий инженер кафедры «Автоматизированные электрические системы» УралЭНИН ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Ерошенко С.А.

Основные положения доклада приведены ниже. Презентация доклада прилагается (**Приложение 1**).

1. Рассмотрена актуальность задач краткосрочного и оперативного прогнозирования выработки электрической энергии на СЭС, а также основные проблемы практической реализации алгоритмов прогнозирования выработки электрической энергии на объектах ВИЭ в целом.

2. Представлены основные пользователи функций краткосрочного и оперативного прогнозирования выработки СЭС с описанием области применения и указанием конкретных видов деятельности.

3. Представлена научная новизна рассматриваемой тематики, основных этапов практической реализации и верификации алгоритмов краткосрочного и оперативного прогнозирования.

4. Рассмотрены физические особенности распространения солнечного излучения в атмосфере Земли и их влияние на структуру алгоритма прогнозирования выработки фотоэлектрических станций:

- спектр излучения солнца на границе атмосферы Земли и на уровне моря: поглощение энергии солнечного излучения в атмосфере;
- прямое, рассеянное и отраженное солнечное излучение, и влияние их соотношения на выработку фотоэлектрической станции;
- структура алгоритма краткосрочного и оперативного прогнозирования выработки фотоэлектрической станции.

5. Представлен обзор и классификация современных методов и

подходов, используемых в задачах прогнозирования выработки фотоэлектрических станций:

- физические модели – описание связей между погодными условиями, рельефом, солнечным излучением и выработкой электрической энергии;
- статистические модели – статистических анализ временных рядов, выявление статистических закономерностей изменения параметров;
- структурные модели – интеллектуальный анализ исходных данных, обеспечивающий выявление неявных закономерностей изменения параметров;
- комбинированные модели – гибридные методы, обеспечивающие сочетание положительных свойств вышеперечисленных подходов.

6. Рассмотрена область применения различных подходов к прогнозированию выработки СЭС, а также динамика изменения ошибки прогноза для различных горизонтов прогнозирования. Установлено, что на временном интервале упреждения «на сутки вперед» наиболее эффективно применение статистических и структурных моделей.

7. Представлены примеры существующих систем прогнозирования, разработанных за рубежом, проведен анализ преимуществ и недостатков, дана оценка возможности использования зарубежного опыта в российской практике.

8. Представлен алгоритм краткосрочного прогнозирования выработки фотоэлектрических станций «на сутки вперед», в том числе:

- Приведен список исходных данных, необходимых для расчета краткосрочного прогноза «на сутки вперед»:
  - географическое местоположение рассматриваемой СЭС;
  - метеорологические условия;
  - конструктивные особенности рассматриваемой СЭС;
  - паспортные характеристики основного оборудования (фотоэлектрические панели, конверторы/инверторы, подстанционное оборудование переменного тока).

Дана количественная и качества оценка различным типам исходных данных и степень их влияния на ошибку прогноза.

– Представлена пошаговая блок-схема, отражающая основные этапы расчета краткосрочного прогноза «на сутки вперед», в том числе:

- расчет плотности потока энергии солнечного излучения на границе атмосферы Земли;
- оценка коэффициентов функции множественной регрессии коэффициента прозрачности;
- расчет выходной мощности СЭС с учетом температуры фотоэлектрических модулей, степени деградации фотоэлементов, нелинейной характеристики КПД инверторов и др.

9. Представлена система факторов снижения эффективности выработки электрической энергии на СЭС, учитывающая как основные технические, так и внешние влияющие факторы.

10. Рассмотрены результаты программной и практической реализации предложенной методики краткосрочного прогнозирования выработки СЭС «на сутки вперед» для реального объекта на примере «типовых» дней с характерными метеоусловиями: «солнечно», «облачно», «переменная облачность»:

- отмечено, что средняя относительная ошибка в процентах для рассмотренного периода (01.10.2017 – 31.12.2017) составляет не более 18,17%;

- установлено, что наибольшая ошибка прогнозирования выработки «на сутки вперед» возникает при переменной облачности, а также осадках.

11. Представлены результаты анализа динамики изменения ошибки краткосрочного прогноза «на сутки вперед», выявлены параметры, вносящие наибольшую погрешность.

12. Представлен алгоритм оперативного прогнозирования выработки фотоэлектрических станций «на час вперед», в том числе:

- Приведен список исходных данных, необходимых для расчета оперативного прогноза:

- географическое местоположение рассматриваемой СЭС;
- метеорологические условия;
- конструктивные особенности рассматриваемой СЭС;
- паспортные характеристики основного оборудования (фотоэлектрические панели, конверторы/инверторы, подстанционное оборудование переменного тока);

- текущие измерения плотности потока энергии солнечного излучения.

- Представлено общее описание, конфигурация и настройки алгоритма бустинга над деревьями решений, в том числе возможные конфигурации обучающей выборки: «обучение без истории», «обучение с историей», «обучение с историей метеоданными».

13. Рассмотрены результаты программной и практической реализации предложенной методики оперативного прогнозирования «на час вперед» для реального объекта на примере «типичного» дня с «переменной облачностью»:

- отмечено, что средняя относительная ошибка в процентах для рассмотренного периода (01.10.2017 – 31.12.2017) составляет не более 11,26%;

- установлено, что наибольшая ошибка оперативного прогнозирования выработки «на час вперед» возникает при переменной облачности и осадках.

14. Сформулированы основные требования к системе краткосрочного и оперативного прогнозирования выработки электрической энергии на СЭС.

15. Перечислены ключевые факторы, влияющие на величину ошибки прогнозирования, и рекомендации к использованию метеорологической информации, предоставляемой внешним метеопровайдером.

**В обсуждении доклада и прениях выступили:** Илюшин П.В. (председатель секции), Безруких П.П. (АО «ЭНИН»), Шихин В.А. (НИУ «МЭИ»), Щепетков С.К. (АО «Техническая инспекция ЕЭС»), Куликов А.Л. (НГТУ им. Р.Е. Алексеева), Шеповалова О.В. (ООО «ВИЭСХ – ВИЭ»), Рылов А.В. и Смоляков В.А. (ООО «Пауэр сервисез»).

С экспертными заключениями по тематике доклада **выступили:**

**Безруких П.П.** – д.т.н., заведующий отделением новых технологий и нетрадиционной энергетики АО «ЭНИН».

Отметил высокий уровень технической, статистической и математической проработки представленного материала.

Обратил внимание, что задачу краткосрочного и оперативного прогнозирования также целесообразно рассматривать с позиции повышения надежности функционирования электроэнергетической системы.

Отметил, что актуальность и экономическая целесообразность решения задач краткосрочного и оперативного прогнозирования выработки СЭС растет по мере увеличения доли СЭС в суммарной структуре установленных мощностей отдельно взятой энергосистемы.

Обратил внимание, что с целью увеличения выборки ретроспективных данных при разработке информационных систем, основанных на метеорологической информации, целесообразно рассмотреть возможность использования баз данных, полученных и опубликованных в виде атласа Главной геофизической обсерваторией имени А.И. Воейкова.

**Шихин В.А.** – к.т.н., заведующий научной лабораторией «Оптимизация и автоматизация энергетических и технологических систем» НИУ «МЭИ».

Подчеркнул, что метеорологические условия являются важным фактором, влияющим на результат прогнозирования, что подтверждается ведущими российскими учеными в данной области.

Обратил внимание на целесообразность использования дополнительных метеорологических приборов и систем, осуществляющих мониторинг погодных условий.

Отметил, что деградация фотоэлектрических панелей является важным параметром и требует учета при реализации функции прогнозирования выработки СЭС.

**Куликов А.Л.** – д.т.н, профессор кафедры «Электроэнергетика, электротехника и силовая электроника» НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

Отметил, что величина допустимой ошибки прогнозирования выработки электрической энергии на СЭС тесно связана со схемно-режимной ситуацией конкретного энергорайона, что подтверждает целесообразность решения задачи прогнозирования выработки СЭС с привязкой к внешней электрической сети.

Отметил, что для повышения наглядности прогноза выработки электроэнергии на СЭС, целесообразно дополнительно выполнять расчеты и вводить доверительные интервалы.

Обратил внимание, что для снижения ошибки оперативного прогнозирования можно использовать математические методы, позволяющие корректировать метеопрогнозы по данным текущих измерений.

**Рылов А.В.** – Главный инженер ООО «Пауэр Сервисез».

Отметил, что экономические критерии функционирования СЭС имеют наибольшее значение при среднесрочном и долгосрочном финансовом планировании, в то время как краткосрочное и оперативное планирование выполняется в большей степени для решения технологических задач.

Отметил целесообразность использования дополнительных измерительных метеорологических комплексов и систем, удаленных от площадки размещения СЭС, для оперативного прогнозирования выработки фотоэлектрической станции.

Обратил внимание, что дискретность оперативного прогнозирования выработки СЭС должна составлять не более 15 минут, что соответствует минимальному времени запуска и набора мощности мобильными газотурбинными генерирующими установками, используемыми для сглаживания резко-переменной выходной мощности объектов ВИЭ.

Отметил, что в качестве индикатора изменения погодных условий может быть рассмотрен дополнительный параметр – атмосферное давление, изменение которого напрямую связано с вариативностью метеоусловий.

Обратил внимание, что современный уровень развития микроэлектронных устройств приводит к целесообразности их применения в качестве метеодатчиков в компактных измерительных комплексах, размещенных за пределами площадки СЭС, что позволяет существенно снизить ошибку оперативного прогнозирования выработки СЭС и обеспечить передачу информации в цифровом виде с необходимой дискретностью на необходимое расстояние.

**Смоляков В.А.** – Начальник технической службы ООО «Пауэр Сервисез».

Отметил, что дискретность опроса установленных на СЭС пиранометров должна составлять менее 1 минуты, чтобы обеспечить возможность мониторинга внешних метеорологических условий в режиме реального времени.

Обратил внимание, что с целью учета неравномерности внешних условий на площадке СЭС необходимо осуществлять сбор и анализ данных с датчиков каждой фотоэлектрической панели, что дополнительно позволит реализовать функцию оценки технического состояния основного оборудования СЭС.

Отметил, что повысить точность прогнозирования можно за счет реализации функции корректировки метеорологического прогноза на основе интеллектуального анализа спутниковых снимков движения облачности.

Отметил высокие перспективы применения гибридных энергетических комплексов, объединяющих в своем составе углеводородную и фотоэлектрическую станции для существенного сглаживания графика вырабатываемой мощности.

Обратил внимание, что ни одна из существующих технологий выработки электрической энергии не обеспечивает такой скорости сброса и набора мощности, как у СЭС, поэтому для обеспечения плавного пуска и останова углеводородных источников генерации требуется искусственное ограничение выдаваемой СЭС мощности с использованием системы управления инверторными группами.

**Шеповалова О.В.** – к.т.н., генеральный директор ООО «ВИЭСХ – ВИЭ».

Отметила, что для повышения точности прогнозирования выработки электрической энергии СЭС целесообразно использовать данные нескольких измерительных систем и датчиков, распределенных по площадке СЭС. Требование по установке таких систем целесообразно включить в технические требования/рекомендации к объекту на этапе проектирования.

Отметила, что технические требования к СЭС в зарубежных нормативно-технических документах проработаны только на уровне отдельных устройств – фотоэлектрическая панель, конвертор/инвертор и др. При этом единые требования к СЭС на текущий момент не разработаны.

Обратила внимание на высокую степень влияния текущего теплового режима фотоэлемента на его КПД.

Отметила целесообразность учета температуры панелей, а также скорости и направления ветра, с целью повышения точности расчета выходной мощности фотоэлектрической станции.

Отметила, что на основе обобщенных результатов оценки ошибки прогноза выработки СЭС необходимо сформировать унифицированные

требования к проектированию аналогичных объектов, в том числе к составу генерирующего оборудования и конфигурации всей системы.

**Грибков С.В.** – к.т.н., председатель Комитета ВИЭ «Федеральной Палаты энергосбережения, энергоэффективности и энергобезопасности», ученый секретарь Комитета ВИЭ РосСНИО, академик РИА.

Обратил внимание, что создание и внедрение дополнительных систем мониторинга метеорологических условий потребует их сертификации и поверки, а также включения в соответствующие технические требования, что может существенно ограничить их использование для решения поставленных задач.

Отметил, что глобальное изменение климата делает неприменимыми многолетние базы данных метеорологических наблюдений, что подтверждается соответствующими современными исследованиями водности рек в Европейской части России. Таким образом, для решения задач прогнозирования выработки СЭС рекомендуется использовать актуальную климатическую и метеорологическую информацию.

Обратил внимание, что разработка рекомендаций по использованию элементов прогнозирования в производственной деятельности персонала фотоэлектрических станций должно быть согласовано с конкретными целями и задачами, которые планируется решать за счет создания системы прогнозирования выработки электрической энергии.

**Илюшин П.В.** – к.т.н., председатель секции, проректор по научной работе ФГАОУ ДПО «ПЭИПК», к.т.н.

Обратил внимание на необходимость создания у особо ответственных и социально-значимых потребителей систем гарантированного электроснабжения с собственными резервными источниками электроснабжения (РИСЭ) при наличии в энергорайоне (энергосистеме) со слабыми связями высокой доли объектов ВИЭ, чтобы исключить возможные перегрузки электросетевого оборудования, а также ввод графиков временного отключения и ограничения режима потребления электрической энергии.

Отметил, что на сегодняшний день отсутствует единый подход к планированию развития генерирующих мощностей на базе традиционных источников энергии в отдельных энергорайонах и энергосистемах, с учетом объемов вводов объектов ВИЭ. При этом технические характеристики оборудования на некоторых вновь вводимых тепловых электрических станциях не позволят обеспечить требуемую скорость регулирования выдачи мощности для покрытия возникающих небалансов в энергосистеме в результате изменения погодных условий и выработки электроэнергии объектами ВИЭ.

Обратил внимание на необходимость совершенствования действующих принципов функционирования оптового рынка электроэнергии и мощности, что подчеркивает актуальность решения задачи краткосрочного и оперативного прогнозирования выработки электрической энергии на СЭС.

Заслушав выступления и мнения экспертов по результатам дискуссии **заседание секции «Распределенные источники энергии» отмечает:**

1. В отечественной электроэнергетике отсутствуют стандарты, требования и рекомендации по проектированию СЭС, в том числе к созданию информационных систем технологического управления фотоэлектрическими станциями.

2. На сегодняшний день не создано действующего программно-аппаратного комплекса российского производства для прогнозирования выработки СЭС, с учетом особенностей отечественной электроэнергетической системы.

3. В настоящее время актуальной задачей является разработка информационно-аналитической системы для краткосрочного и оперативного прогнозирования выработки СЭС в условиях увеличения доли объектов генерации на базе ВИЭ.

4. Решение задач краткосрочного и оперативного прогнозирования выработки СЭС целесообразно рассматривать с позиции повышения надежности функционирования энергосистемы, с учетом экономических показателей функционирования фотоэлектрических станций на оптовом рынке электрической энергии и мощности.

5. Необходимо проведение дальнейших научных исследований для разработки конкретных рекомендаций по проектированию и эксплуатации фотоэлектрических станций, обеспечивающих достоверное планирование режимов работы электроэнергетической системы.

**Заседание секции «Распределенные источники энергии» решило:**

1. Положительно оценить опыт ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» в области создания систем прогнозирования выработки СЭС.

2. Рекомендовать ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» продолжить научные исследования в области краткосрочного и оперативного прогнозирования режимов работы электроэнергетической системы с объектами ВИЭ.

3. Рекомендовать ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» разработать и представить на рассмотрение секции «Распределенные источники энергии» НП «НТС ЕЭС»

проект рекомендаций и технических требований к проектированию и эксплуатации информационных систем сбора, обработки, передачи данных фотоэлектрических станций, обеспечивающих достоверное краткосрочное и оперативное прогнозирование режимов работы электроэнергетической системы с объектами ВИЭ.

4. Рекомендовать подкомитету С6 «Системы распределения электроэнергии и распределенная генерация» РНК СИГРЭ рассмотреть вопрос краткосрочного и оперативного прогнозирования выработки электрической энергии на фотоэлектрических станциях на очередном заседании национальной проблемной рабочей группы подкомитетов С5/С6 РНК СИГРЭ «Перспективы участия распределенной генерации в энергетических рынках».

5. Рекомендовать собственникам фотоэлектрических станций рассмотреть вопрос о возможности установки нескольких измерительных систем и датчиков, распределенных по площадке СЭС и прилегающей территории, позволяющих осуществлять сбор и обработку статистических данных для последующей разработки оптимальных алгоритмов краткосрочного и оперативного прогнозирования выработки электроэнергии на СЭС.

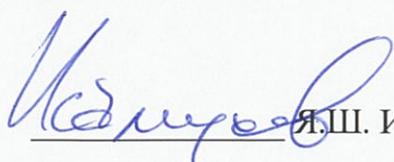
6. Рекомендовать Ассоциации НП «Совет рынка» рассмотреть вопрос о возможности финансирования разработки отечественного программно-аппаратного комплекса российского производства для краткосрочного и оперативного прогнозирования выработки электроэнергии фотоэлектрическими станциями, что позволит снизить общие затраты рынка на оплату резервов мощности.

С заключительным словом выступил председатель секции «Распределенные источники энергии», к.т.н. Илюшин П.В.

Первый заместитель Председателя  
Научно-технической коллегии,  
д.т.н., профессор

  
В.В. Молодюк

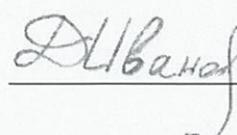
Ученый секретарь Научно-технической  
коллегии, к.т.н.

  
Я.Ш. Исамухамедов

Председатель секции  
«Распределенные источники  
энергии» НП «НТС ЕЭС», к.т.н.

  
П.В. Илюшин

Ученый секретарь секции  
«Распределенные источники  
энергии» НП «НТС ЕЭС»

  
Д.А. Ивановский