

УДК 620.91

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫРАБОТКИ ВИЭ  
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ НАДЁЖНОЙ РАБОТЫ В СОСТАВЕ  
ЭНЕРГОСИСТЕМЫ****IMPROVING THE ACCURACY OF FORECASTING RES GENERATION  
TO ENSURE THEIR RELIABLE OPERATION AS PART  
OF POWER SYSTEM**

М.Н. Булин

Научный руководитель – Е.М. Гецман, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Bulin

Supervisor – E. Hetsman, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в статье рассматривается вопрос повышения точности прогнозирования выработки энергии от возобновляемых источников (ВИЭ) наравне с обеспечением возможности краткосрочного прогнозирования для их надёжной интеграции в составе современной энергосистемы посредством внедрения передовых программных и аппаратных средств. Также уделено внимание результатам повышения эффективности для существующих пилотных проектов, внедривших краткосрочное прогнозирование.*

***Abstract:** the article examines the issue of improving the accuracy of forecasting energy generation from renewable sources (RES) along with providing the possibility of short-term forecasting for their reliable integration into the modern energy system through the introduction of advanced software and hardware. Attention is also paid to the results of efficiency improvement for existing pilot projects that have implemented short-term forecasting.*

***Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, повышение эффективности прогнозирования, краткосрочное прогнозирование, численная модель прогнозирования погоды, возобновляемая энергетика, солнечная энергетика, ветровая энергетика.*

***Key words:** renewable energy sources, improving the efficiency of forecasting, short-term forecasting, numerical model of forecasting, renewable energy, solar energy, wind energy.*

**Введение**

Увеличение доли ВИЭ в структуре энергетического производства наиболее развитых и стремительно развивающихся стран носит закономерный характер. Актуальная ситуация на рынке приводит к стремительному сокращению экономических издержек на производство электроэнергии из ВИЭ, обширным инновациям и постепенному смещению общего вектора развития электроэнергетики в сторону перехода на безуглеродные источники энергии. Перманентная трансформация энергетического сектора подталкивает отрасль к новым вызовам в технологическом и экономическом плане.

**Основная часть**

Увеличение объёмов непостоянных во времени ВИЭ требует актуализации привычного подхода к оценке перспектив выработки возобновляемой энергии. Создание более гибкой модели прогнозирования энергопроизводства повлечёт за собой повышение уровня диспетчеризации и коэффициента использования установленной мощности (КИУМ), в частности обеспечение высокого уровня надёжности электроснабжения от ВИЭ, качества производимой электроэнергии и экономической эффективности установок. Следует отметить, что структура ВИЭ весьма разнообразна и включает в себя относительно большое число направлений. Согласно отчёту [1] Международного агентства по ВИЭ (IRENA – International Renewable Energy Agency) перспективное развитие электрической генерации и общей установленной мощности структурных элементов ВИЭ до 2050 года можно представить в виде рисунка 1, из которого видно, что наибольшее распространение будет характерно для ветровой (континентальной и оффшорной) и фотоэлектрической электроэнергетики. В ходе работы будем придерживаться данных направлений.

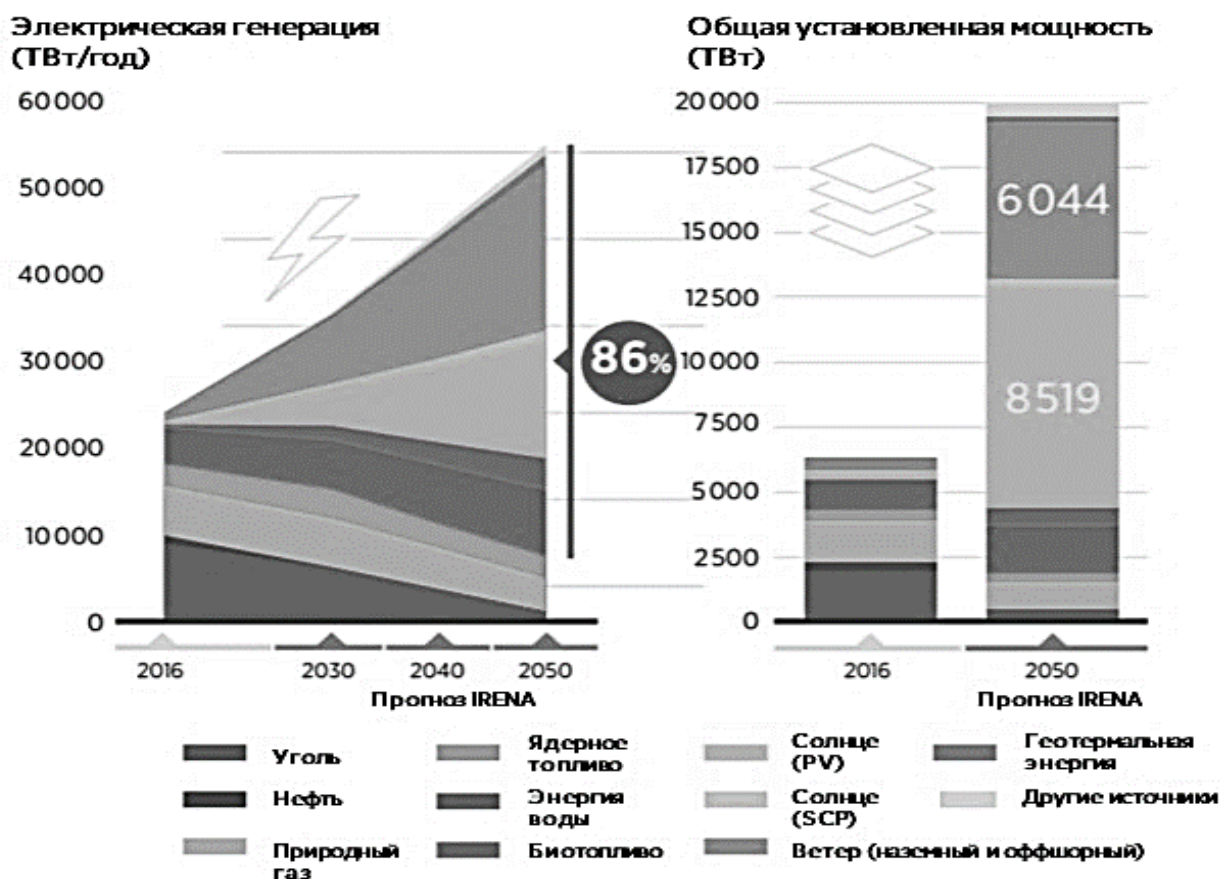


Рисунок 1 – Прогноз роста ВИЭ до 2050 года согласно докладу IRENA по направлениям

Как для солнечной фотоэлектрической, так и для ветровой энергетики одной из наиболее трудно решаемых задач, в некоторой степени, ограничивающей крупномасштабное развёртывание технологий, остаётся невозможность достаточно точно предсказать их прерывистый характер выработки. Быстрое проникновение возобновляемой энергии на рынок, требует адаптированного планирования производства и разработки более совершенных методов прогнозирования.

По своей сути прогнозирование является экономически эффективным инструментом управления взаимодействием энергосистемы и производителей энергии от ВИЭ, а также балансировки выработки таких электростанций. В настоящее время в Беларуси все электростанции на возобновляемой энергии мощностью свыше 1 МВт обязаны участвовать в планировании выработки на сутки вперед. Однако, учитывая изменчивость производства возобновляемой энергии, краткосрочное (0-6 часов) прогнозирование имеет решающее значение для планирования производства возобновляемой энергии на ближайшие несколько часов, вплоть до следующих нескольких минут. Поэтому предварительное планирование может ограничивать выработку электроэнергии, а в случаях изменения реальных погодных условий в течение следующих суток способно вызвать фактический простой фотоэлектрического или ветряного оборудования, тем самым снижая КИУМ.

Типичный прогноз выработки электроэнергии от солнечных и ветровых электрических станций (СЭС и ВЭС, соответственно) основывается на программной комбинации данных о доступности мощностей станции и актуальном метеорологическом прогнозе для местоположения СЭС/ВЭС. Передовые же методы прогнозирования погодных условий используют преимущества достижений в области цифровых технологий, таких как искусственный интеллект (ИИ) и анализ больших данных о метеоусловиях, на основе которых и формируется прогноз (Big data/большие данные – структурированная и неструктурированная информация огромных объемов, в данном случае за длительный период).

Благодаря увеличению вычислительной мощности и совершенствованию алгоритмов прогнозы выработки электроэнергии стали более точными. В аналогичном ключе, благодаря все более широкому использованию ИИ повышается точность краткосрочных прогнозов.

Каждый энергетический прогноз неизменно начинается с численных моделей прогнозирования погоды (ЧМПП – компьютерная программа, составляющая на основе текущих данных метеорологический прогноз), которые являются принятыми базовыми прогнозами, регулирующимися и управляемыми государственными организациями (в Республике Беларусь таковой является Белгидромет). ЧМПП используют такие данные, как температура, давление и влажность в качестве входной информации, а затем при помощи физических и математических законов моделируют метеоусловия на ближайшее будущее. На основе смоделированных прогнозов погоды и данных о характеристике эффективности установок по использованию ВИЭ при различных условиях можно смоделировать теоретическую выработку энергии из ветровых или солнечных ресурсов. ЧМПП как правило используются для прогнозирования на 15 дней вперед, однако эти модели не обладают весомой точностью в краткосрочной перспективе (менее нескольких часов).

Достижение наибольшей возможной точности прогноза погоды в контексте осуществления краткосрочного и долгосрочного прогнозирования становится ключевыми фактором для обеспечения эффективной интеграции возобновляемой генерации в структуру энергосистемы и организации

скоординированного взаимодействия между производителем возобновляемой энергии и системным оператором. На рисунке 2 представлена типовая схема взаимодействия элементов прогнозирования в процессе получения итогового прогноза выдачи электроэнергии в сеть (производства электроэнергии).



Рисунок 2 – Схематичная структура взаимодействия элементов цепочки прогнозирования производительности блок-станции на основе ВИЭ

Влияние повышения точности прогнозирования солнечной энергии было проанализировано в исследовании [2] путем оценки работы всей энергетической системы за счёт ретроспективного анализа для нескольких сценариев: один полностью исключал использование солнечной энергии, а оставшиеся основывались на различном уровне проникновения солнечной фотоэлектрической генерации в состав энергосистемы (4,5%, 9%, 13,5%, и 18%). Каждому сценарию соответствовала своя степень повышения точности прогнозирования, заданная на уровне 25%, 50%, 75% и 100%.

Исследование показало, что выработка электроэнергии из традиционных источников энергии (природного газа и нефти) снижается на фоне повышения точности прогнозирования солнечной энергии, а удельная экономия повышается с повышением точности для каждого сценария (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели удельной экономии за счёт повышения точности прогнозирования

Экономия за счёт повышения точности прогнозирования, \$/МВт·ч	Доля солнечной энергии в структуре энергопроизводства, %			
	4,5	9,0	13,5	18,0
Повышение точности прогноза, %	4,5	9,0	13,5	18,0
25	0,11	0,33	0,39	0,50
50	0,29	0,62	0,77	0,95
75	0,30	0,74	1,03	1,25
100	0,32	0,82	1,13	1,42

Так оператор Национальной электросетевой системы Великобритании (ESO – Electricity System Operator) недавно заявил [3], что будет сотрудничать с Open Climate Fix, некоммерческим стартапом, использующим искусственный интеллект для повышения эффективности прогнозирования солнечной генерации. Представители ESO заявили, что их новые модели прогнозирования на основе ИИ улучшили прогнозирование выработки солнечной фотоэлектрической энергии на треть (33%).

Важно понимать, что повышение точности прогноза возможно только при совокупном использовании разнонаправленных технологий, таких как:

- Интеллектуальные счетчики для постоянной оценки выработки электрической энергии в режиме онлайн;
- Метеорологические датчики для постоянной оценки погодных условий в режиме реального времени;
- Доступ к базам локальной и государственной сети метеорологических станций для ежеминутного мониторинга, а также к спутниковым метеорологическим данным;
- Продвинутое программное обеспечение;
- Расширенные инструменты прогнозирования погоды, основанных на анализе больших данных посредством ИИ и машинного обучения;

Список стран, активно внедряющих прогрессивное прогнозирование постепенно растёт, далее рассмотрим на некоторых примерах. Так австралийское агентство по возобновляемым источникам энергии (ARENA – Australia Renewable Energy Agency) выделило финансирование в размере 5,6 млн. долл. США на 11 проектов по тестированию краткосрочного прогнозирования на крупномасштабных ВЭС и СЭС для и повышения точности краткосрочного пятиминутного прогнозирования австралийской ветроэнергетики [4].

Система прогнозирования солнечной фотоэлектрической генерации Suncast сочетает в себе несколько технологий прогнозирования, охватывающих различные временные промежутки и пространственные зоны, для прогнозирования локального солнечного облучения. Прогнозы из нескольких ЧМПП объединяются программным обеспечением динамического прогнозирования, используемого для получения прогнозов на срок более 6 часов, а также для краткосрочных прогнозов в диапазоне от 0 до 6 часов. Прогнозы солнечного облучения преобразуются в теоретические значения выработки электроэнергии, которые затем предоставляются сетевой организации для обеспечения диспетчеризации [5].

Проект гибридного прогнозирования возобновляемой энергии (HyREF – Hybrid Renewable Energy Forecasting), применённый на гибридной солнечно-ветровой электрической станции мощностью 670 МВт, сконструированной IBM для китайской государственной электросети Jibe Electric Power Company Ltd основывается на передовом анализе данных выработки энергии ветра и солнца за счёт технологии создания изображений небесного облачного покрова при помощи камеры высокого разрешения, в совокупности с использованием измерительных датчиков на гондоле ветрогенератора.

HyREF способен прогнозировать выдаваемую в сеть мощность как на несколько месяцев вперед, так и на последующий 15-минутный период до фактической выработки. Результатом внедрения стало сокращению издержек в среднем на 10% [6].

### **Заключение**

Современная трансформация отрасли ВИЭ и её перерастание в полноценный аналог традиционным энергетическим ресурсам требует планомерного развития прогнозирования выработки электроэнергии. Актуальные подходы основываются на модернизации существующих и создании принципиально новых ЧМПП в совокупности с использованием всех доступных технических средств, включая ретроспективный анализ статистических метеоданных и актуализации базы больших данных с её последующим анализом при помощи ИИ.

Пилотное внедрение соответствующих технологий доказало свою эффективность в странах с высоким уровнем развития отрасли ВИЭ среди которых Австралия, Германия, США и Китай.

### **Литература**

1. Electricity Storage Valuation Framework [Электронный ресурс] // IRENA, International Renewable Energy Agency. - 2020. – Режим доступа: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA\\_storage\\_valuation\\_2020.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_storage_valuation_2020.pdf) – Дата доступа: 20.04.2021.
2. The value of day-ahead solar power forecasting improvement [Электронный ресурс] // Science Direct. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X16000736>. – Дата доступа: 17.09.2021.
3. UK's National Grid to use Machine Learning to Better Predict Solar Generation [Электронный ресурс] // Prospero Events Group. – Режим доступа: <https://www.prosperevents.com/uks-national-grid-to-use-machine-learning-to-better-predict-solar-generation/>. – Дата доступа: 11.09.2021.
4. Vestas and Utopus Insights to pilot energy forecasting solutions for renewable power plants in Australia [Электронный ресурс] // UTOPIUS Insights. – Режим доступа: <https://www.utopusinsights.com/australiapilot>. – Дата доступа: 26.09.2021.
5. Building the Sun4Cast System: Improvements in Solar Power Forecasting [Электронный ресурс] // AMS, American Meteorological Society. – Режим доступа: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/99/1/bams-d-16-0221.1.xml>. – Дата доступа: 22.09.2021.
6. Market Evolution: Wholesale Electricity Market Design for 21st Century Power Systems [Электронный ресурс] // NREL, National Renewable Energy Agency. – Режим доступа: <https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/57477.pdf>. – Дата доступа: 01.10.2021.