

3. Юрченко А.В., Китаева М.В., Охорзина А.В., Скороходов А.В. Автономная система слежения за Солнцем для солнечной энергосистемы // Контроль, измерение, информатизация: Материалы XII Междунар. научно-техн. конф. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. – С. 179–183.
4. Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии (Теория и практика использования солнечной энергии) : монография / В. Поулук, М. Либра, Д. Стребков, В. Харченко. – Москва-Прага, 2013. С. 175–186.
5. Системы слежения за Солнцем с применением ФЭД / А. В. Охорзина, М. В. Китаева, А. В. Юрченко, А. В. Скороходов // Ползуновский вестник. № 2, вып. 1. – 2012. – С. 213–217.
6. Использование солнечной энергии для повышения энергоэффективности жилых зданий: справочное пособие / исполн.: В.В. Покотилов, М.А. Рутковский. – Минск : 2014. –51 с.

УДК 629.7.064.56

Влияния сезонности на эффективность работы солнечных электростанций с фотоэлектрическими панелями различных типов

Андрианов В. М., Зеленькевич А. И., Пинчук И. А.

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Беларусь

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос влияния сезонности на эффективность работы солнечных электростанций с монокристаллическими, поликристаллическими, тонкоплёночными фотоэлектрическими панелями для условий Республики Беларусь. Приведен график выработки электроэнергии с учетом сезонности для разнотипных фотоэлектрических панелей, рекомендации по выбору материала солнечных панелей с учетом типа объекта, единичной мощности панели, площади установки, архитектурно-строительных особенностей объекта.

Ключевые слова: солнечная энергетическая установка, сезонность работы, эффективность использования.

Повышение эффективности работы солнечных энергетических установок является важным аспектом развития возобновляемой энергетики.

Для территории Беларуси, расположенной в умеренном климатическом поясе с выраженной сезонностью солнечной инсоляции, эффективность солнечных электростанций (СЭС) существенно варьируется в течение года. Применение трекеров в условиях Беларуси позволяет частично компенсировать потери, вызванные сезонными колебаниями. Наибольшую эффективность они демонстрируют в периоды низкой солнечной высоты (весна и осень), когда фиксированные панели теряют значительную часть инсоляции из-за неблагоприятного угла падения солнечных лучей.

Кроме трекеров, на эффективность СЭС влияют и другие мероприятия, такие как автоматизированные системы очистки панелей от загрязнений и снега, применение высокоэффективных фотоэлектрических модулей с улучшенным спектральным откликом, а также оптимизация конфигурации массивов в зависимости от ландшафта и микроклимата. С учетом этих факторов совокупное повышение выработки может достигать 35 – 45 % по сравнению с базовым сценарием использования фиксированных панелей без дополнительных технических решений.

Сезонность оказывает одно из ключевых влияний на эффективность работы солнечных электростанций, особенно в регионах с умеренным климатом, к которым относится территория Беларуси. Эффективность работы СЭС напрямую зависит от уровня солнечной инсоляции, продолжительности светового дня, облачности, угла падения солнечных лучей и погодных условий, которые имеют выраженные сезонные колебания в течение года.

В весенне-летний период (с апреля по август) наблюдается наибольшая интенсивность солнечного излучения. Угол падения солнечных лучей близок к оптимальному, продолжительность светового дня максимальна (до 16 – 17 часов в июне), и уровень прозрачности атмосферы в большинстве случаев выше. Это способствует достижению пиковой генерации электроэнергии: в летние месяцы СЭС могут вырабатывать до 60 – 70 % своей годовой продукции. В этот период коэффициент использования установленной мощности может достигать 20 – 25 % для фиксированных систем и до 30 % для систем со слежением.

Осенью (сентябрь—ноябрь) наблюдается снижение эффективности работы СЭС. Продолжительность светового дня уменьшается, увеличивается облачность и количество осадков. Угол падения солнечных лучей становится менее благоприятным, что снижает уровень инсоляции на горизонтальных поверхностях. При этом трекеры частично компенсируют этот спад за счет оптимальной ориентации панелей, особенно в утренние и вечерние часы, когда солнце стоит низко над горизонтом.

Зимой (декабрь—февраль) работа солнечных электростанций испытывает наибольшее падение эффективности. Продолжительность светового дня минимальна (около 7–8 часов), солнце поднимается низко над горизонтом, а облачность и снегопады значительно уменьшают поступление солнечного излучения. Снежный покров может частично или полностью закрывать поверхности панелей, если не предусмотрены системы их очистки. В эти месяцы выработка может составлять менее 5 – 10 % от годового объема. Именно зимой фиксированные солнечные панели работают наименее эффективно, и преимущества систем слежения особенно заметны: трекеры помогают улавливать низко стоящие солнечные лучи, увеличивая генерацию на 15 – 20 % по сравнению с фиксированными системами [1,2].

Весной (март — апрель) происходит постепенное восстановление производительности СЭС. Увеличение продолжительности светового дня, рост солнечной активности и исчезновение снежного покрова способствуют резкому росту выработки электроэнергии.

На эффективность СЭС значительное влияние оказывают тип установки и материал панелей СЭС. Авторами проведен анализ влияния сезонности на разные типы солнечных батарей. Наибольшее распространение в Республике Беларусь получили: монокристаллические кремниевые панели (monocrystalline); поликристаллические кремниевые панели (polycrystalline); тонкоплёночные солнечные панели (thin-film).

Рассмотрим влияние сезонности на каждый тип панелей. Монокристаллические солнечные батареи представляют собой панели из единого кристалла кремния и отличаются наивысшим КПД в диапазоне 18 – 22%, высокой плотностью мощности и длительным сроком службы. Влияние сезонности на такие панели проявляется следующим образом: летом при высокой инсоляции эффективность достигает максимума, однако чрезмерное повышение температуры выше +25 °С снижает эффективность на 0,4 – 0,5 % за каждый градус перегрева. Зимой панели хорошо работают при низких температурах, поскольку КПД может даже увеличиваться за счёт охлаждения, однако малая инсоляция и короткий световой день ограничивают общую выработку энергии. Весной и осенью эффективность остаётся высокой благодаря умеренным температурам и растущей или падающей инсоляции, особенно в периоды резких смен температуры, когда охлаждение панелей дополнительно повышает их выработку.

Поликристаллические солнечные батареи состоят из множества кристаллов кремния и имеют чуть более низкий КПД — 15 – 18 %, однако по стоимости чуть дешевле в производстве. Влияние сезонности у них схоже с монокристаллическими: летом панели работают стабильно, но падение КПД при перегреве составляет около 0,5 % на каждый градус выше +25 °С, а зимой низкие температуры позволяют им показывать лучшие результаты, хотя их базовый КПД ниже, что делает зимнюю генерацию менее эффективной. Весной и осенью показатели средние: при умеренных температурах панели работают приемлемо, но чуть хуже, чем монокристаллические.

Тонкоплёночные солнечные батареи, изготовленные из аморфного кремния, теллурида кадмия (CdTe) или меди-индия-галлия-селенида (CIGS), обладают меньшим КПД — 10 – 14 %, однако являются лёгкими и гибкими. Влияние сезонности для них отличается: летом, благодаря низкому тепловому коэффициенту падения мощности (0,2 – 0,3 % на градус), они показывают хорошую работу при высоких температурах и стабильны в жаркую погоду. Зимой их эффективность снижается из-за низкого КПД и недостаточной инсоляции, что делает их менее подходящими для использования в холодное время. В весенние и осенние месяцы они лучше работают в условиях рассеянного света и облачности, что позволяет иногда превосходить кремниевые панели при пасмурной погоде.

На рисунке представлен график сезонной генерации для разных типов панелей: монокристаллические, поликристаллические, тонкоплёночные.

На графике видно, как сезонность влияет на три основных типа солнечных батарей в Беларуси: монокристаллические панели демонстрируют наибольшую генерацию во все месяцы, с пиком в июне—июле. Зимой их потенциал тоже выше, чем у других типов, благодаря лучшей работе при низких температурах. Поликристаллические панели выдают около 90 % от монокристаллических. Их сезонный профиль схож, но абсолютные значения невысоки зимой и чуть более чувствительны к летнему перегреву. Тонкоплёночные панели — 70 % от базового уровня. Они наиболее равномерно работают в жару (меньше термических потерь) и относительно лучше реагируют на рассеянное освещение, но общая генерация у них заметно ниже, особенно зимой.

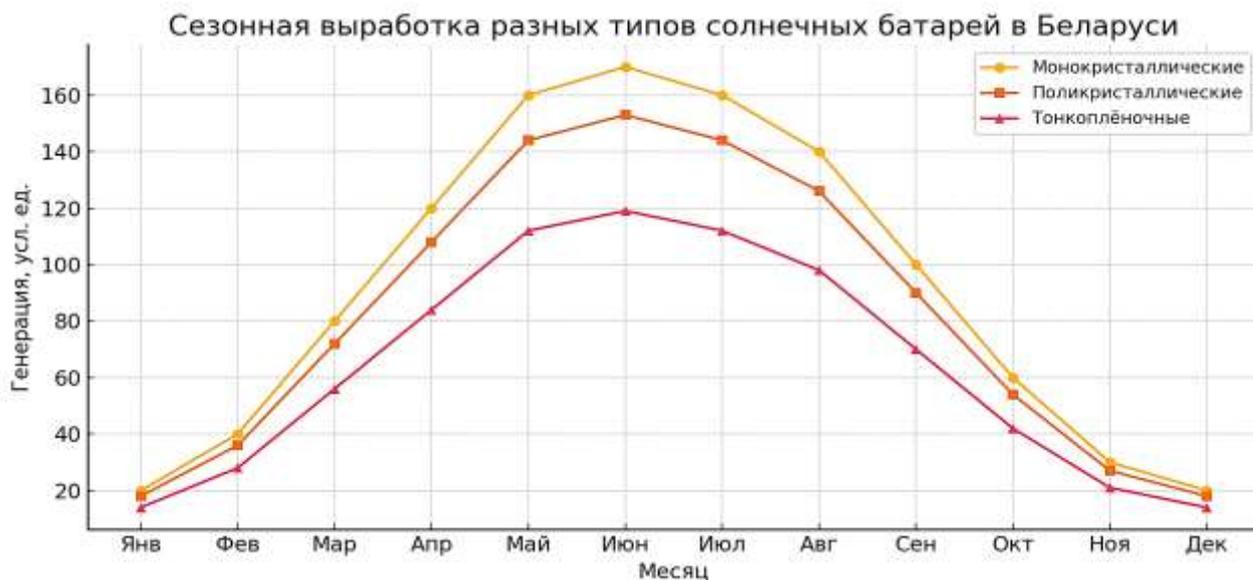


Рисунок 1 – График сезонной генерации для разных типов панелей в Беларуси

При выборе материала солнечных панелей следует учитывать также тип объекта, на котором устанавливается панель, единичную мощность панели, площадь установки, архитектурно-строительные особенности.

Таблица – Рекомендации по выбору типов солнечных панелей для разных объектов

Тип объекта	Оптимальный выбор	Обоснование
Частные крыши (ограниченная площадь)	Монокристаллические	Высокая плотность мощности, компактный монтаж, лучшая прибыльность на м ²
Коммерческие крыши/склады	Поликристаллические	Более низкая стоимость, достойный КПД, экономически оправданы большие площади
Промышленные СЭС	Поликристаллические + трекеры	Оптимальный баланс капитальные затраты/эксплуатационные расходы, высокая выработка на гектарах
Фасады зданий и навесы	Тонкоплёночные	Гибкость, малая масса, лучшее поведение при рассеянном свете
Малые часы работы (летние дачи)	Тонкоплёночные	Достаточно генерации летом, низкая цена, упрощённый монтаж
Проекты с приоритетом зимней выработки	Монокристаллические + двухосевые трекеры	Максимальный КПД при низком солнце, более равномерная генерация

Выводы. При необходимости улучшить сезонную устойчивость особенно в холодное время года, стоит сочетать кремниевые панели с трекерами: одноосевыми в коммерческих/промышленных проектах и двухосевыми в приоритетных «зимних» установках.

Библиографический список:

1. Markvart T., Castaner L. Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications. – NY: ELSEVIER, 2003. – 1020 p.
2. Использование солнечной энергии для повышения энергоэффективности жилых зданий: справочное пособие / исполн.: В.В. Покотилов, М.А. Рутковский. – Минск : 2014. –51 с.

УДК 502.174.3

Роль ИОТ-технологий в интеграции возобновляемых источников энергии

Атангулова А. А., Бабилов О. Е.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена роль ИОТ-технологий в интеграции возобновляемых источников энергии в существующие энергосистемы. Рассмотрены ключевые преимущества ИОТ, включая оптимизацию генерации, управление спросом и снижение потерь, а также сопутствующие риски – энергопотребление устройств и кибербезопасность. Особое внимание уделено потенциалу ИОТ для создания умных сетей и устойчивого развития энергетики.

Ключевые слова: энергетические системы, возобновляемые источники энергии, цифровая трансформация, Интернет вещей.

Создание устойчивой безуглеродной энергетики предполагает масштабное внедрение возобновляемых источников – солнечных, ветровых и гидроэлектростанций. Однако достижение этой цели невозможно без фундаментальных изменений в энергетической отрасли, включая модернизацию инфраструктуры, пересмотр нормативной базы и внедрение инновационных технологий управления. Доступность природных источников ВИЭ, развитие технологий, комбинация использования ВИЭ вместе с накопителями электрической энергии, снижение стоимости технологий за последние несколько лет сыграли значительную роль в обеспечении низкоуглеродной энергетической альтернативы [1]. Однако полномасштабное внедрение этих технологий все еще осложнено множеством вопросов – от политико-правовых и институциональных до технологических и социальных [2,3].

В этом контексте технологии Интернета вещей (ИОТ) играют ключевую роль, предлагая цифровые инструменты для повышения эффективности, надежности и адаптивности энергетических систем, основанных на использовании ВИЭ.

Исследования показали, что основными проблемами внедрения ВИЭ являются высокая стоимость инновационной инфраструктуры, политическая неопределенность, сложность интеграции в действующую энергосистему страны и ограниченный доступ к технологиям для стран со средним и низким уровнем научно-технического развития [4].

В то же время, цифровизация энергетики, включая ИОТ-технологии, формирует новые бизнес-модели, способствует децентрализации энергоснабжения и усиливает взаимодействие конечных пользователей с распределенной энергетической системой. Устройства ИОТ связывают энергетические предприятия и конечных потребителей электрической энергии, формируя адаптивную систему, которая поддерживает баланс энергосети и внедрение интеллектуальных решений на базе искусственного интеллекта в устоявшиеся процессы. Инфраструктура ИОТ в энергетике объединяет аппаратные модули и программные алгоритмы, взаимодействующие для реализации сбора данных, их аналитической обработки, прогнозирования, оперативного управления и обмена информацией между участниками системы.

Сенсоры фиксируют параметры окружающей среды и состояние оборудования. С помощью облачных вычислений и алгоритмов машинного обучения осуществляется прогнозирование выработки, выявление неисправностей и оптимизация режимов работы энергетического оборудования.