

## СЕКЦИЯ 4. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, МЕТРОЛОГИЯ И ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 629.7.064.56

### Применение систем слежения за Солнцем в солнечных энергетических установках для повышения их эффективности работы

Андрианов В. М., Зеленкевич А. И., Авдей А. С.

*Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Беларусь*

**Аннотация.** В статье рассмотрен вопрос применения систем слежения за Солнцем в солнечных энергетических установках для условий Республики Беларусь. Приведено сравнение одноосевых и двухосевых систем слежения, сделаны выводы об областях их применения, преимуществах и недостатках.

**Ключевые слова:** солнечная энергетическая установка, система слежения за Солнцем, одноосевые и двухосевые солнечные трекеры, эффективность использования.

Повышение эффективности работы солнечных энергетических установок (СЭУ) является ключевым направлением развития возобновляемой энергетики, особенно в условиях умеренного климата, характерного для территории Республики Беларусь. Одним из перспективных технических решений в данной области является внедрение систем слежения за Солнцем (солнечных трекеров), позволяющих оптимизировать угол падения солнечных лучей на фотоэлектрические панели в течение дня и года.

Системы слежения за солнцем делятся на одноосевые и двухосевые. Одноосевые системы ориентируют панели по азимуту (восток—запад), тогда как двухосевые обеспечивают ориентацию и по азимуту, и по высоте, максимально точно следуя за движением Солнца по небосводу. Согласно международным исследованиям, использование одноосевых трекеров может повысить выработку электроэнергии на 15 – 25 % по сравнению с фиксированными установками, в то время как двухосевые системы обеспечивают прирост до 30 – 40 %, в зависимости от географического положения и метеоусловий [1-5].

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.

Согласно проведенному авторами моделированию на основе климатических данных Беларуси [6], внедрение одноосевых трекеров способно обеспечить годовой прирост генерации на уровне 18 – 22 %, а двухосевых — до 30 %, что может существенно сократить срок окупаемости солнечных электростанций, особенно при высокой стоимости электроэнергии или наличии государственных субсидий.

Выбор между одноосевыми и двухосевыми системами слежения за солнцем в Беларуси должен осуществляться с учетом соотношения между дополнительной выработкой электроэнергии и затратами на установку, эксплуатацию и обслуживание оборудования. Двухосевые трекеры обеспечивают максимальный прирост генерации, однако их стоимость и сложность технического обслуживания существенно выше, чем у одноосевых. В условиях умеренной инсоляции Беларуси наиболее рациональным решением может быть применение одноосевых систем слежения, особенно в промышленных солнечных электростанциях средней мощности, где оптимизация капитальных затрат имеет решающее значение для инвестиционной привлекательности проектов.

Анализ графиков показывает, что преимущество трекеров наиболее заметно в весенние и осенние месяцы, что обусловлено относительно низким положением Солнца над горизонтом. В зимние месяцы выигрыш от трекеров сохраняется, но снижается из-за высокой облачности. В летние месяцы разница между фиксированной системой и системой с трекером минимальна, так как Солнце и так высоко.

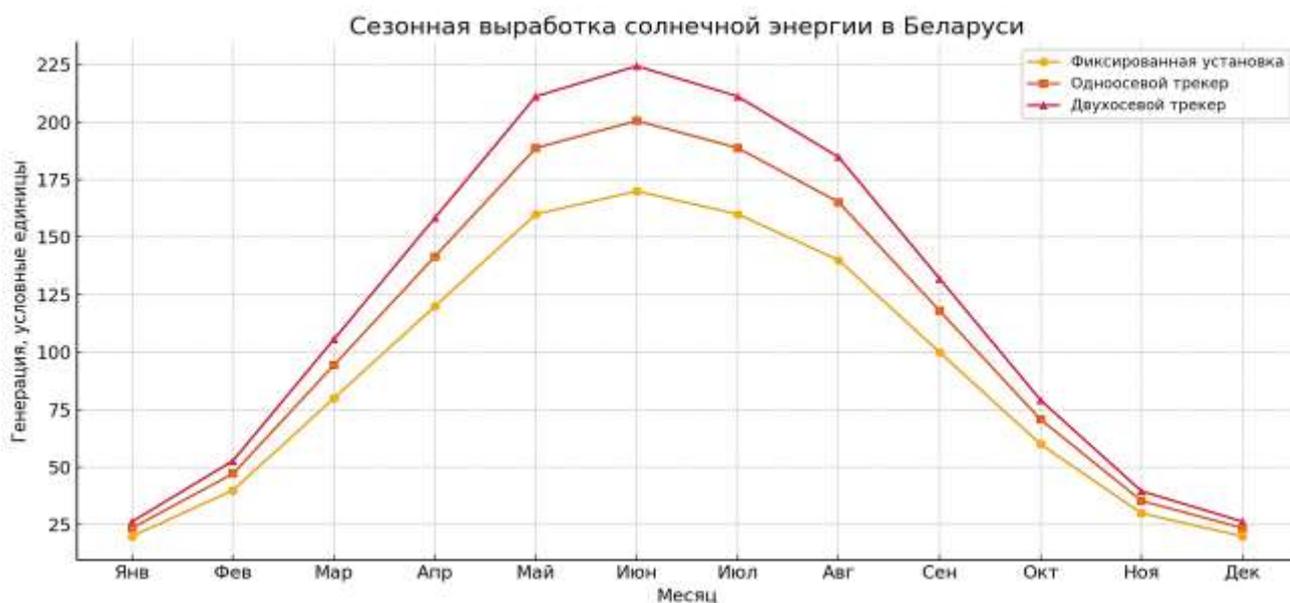


Рисунок 1 – Выработка солнечной энергии в Беларуси для трёх типов установок: без трекера, с одноосевым трекером, двухосевым трекером

Без трекеров зимой станции практически простаивают. С трекерами доля зимней выработки возрастает, что позволяет равномернее распределить нагрузку на энергосистему и сократить потребность в дополнительных источниках энергии в зимний период.

Для Беларуси, где зимние месяцы характеризуются низкой солнечной активностью и коротким световым днём, двухосевые трекеры дают особенно высокий энергетический эффект в расчёте на каждый квадратный метр установленной площади. Однако их установка требует больших начальных затрат и более сложного технического обслуживания, поэтому выбор системы должен базироваться на детальном технико-экономическом анализе.

Климатические особенности Беларуси — высокая влажность, обильные осадки в осенне-зимний период, налипание снега и льда — предъявляют повышенные требования к надёжности и погодоустойчивости систем слежения. Это диктует необходимость использования антикоррозионных материалов, усиленных конструкций и интеграции систем автоматического управления, способных переходить в безопасное положение при неблагоприятных погодных условиях (штормовой ветер, обледенение).

Перспективным направлением является также сочетание систем слежения с алгоритмами прогнозирования солнечной активности на основе метеоданных и искусственного интеллекта. Такие интеллектуальные системы позволяют минимизировать износ оборудования, оптимизируя его работу в зависимости от погодных условий, и дополнительно увеличивать общий коэффициент использования установленной мощности. Для повышения зимней генерации целесообразно комбинировать солнечную энергетику с другими ВИЭ (например, ветровой) или использовать накопители энергии.

**Выводы.** Внедрение систем слежения за солнцем позволяет существенно увеличить эффективность солнечных электростанций в Беларуси, особенно в периоды весны, осени и зимы, когда фиксированные панели работают неэффективно. Одноосевые трекеры являются компромиссным решением с хорошим балансом между приростом энергии и затратами. Двухосевые трекеры целесообразно применять на крупных станциях или там, где приоритетом является максимизация круглогодичной выработки электроэнергии.

#### **Библиографический список:**

1. Markvart T., Castaner L. Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications. – NY: ELSEVIER, 2003. – 1020 p.
2. Yurchenko A.V., Kozlov A.V. The long-term prediction of silicon solar batteries functioning for any geographical conditions // Proceedings of XXII European PV Solar Energy Conference and Exhibition. – Milan, 3–7 September 2007. – P. 3019–3022.

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.