



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.311

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОННОЙ РЕКУРРЕНТНОЙ СЕТИ ЭЛМАНА

<sup>1</sup>Таран А.А., <sup>2</sup>Таран Е.Н.

ПДО, ГБОУ ДО «Севастопольская станция юных техников», Севастополь, Россия (299001, г. Севастополь, ул. Горпищенко, д.39), e-mail: <sup>1</sup>sunbut@yandex.ru, <sup>2</sup>taranelena23@yandex.ru.

Проанализированы направления совершенствования солнечных электростанций, показаны препятствия на пути их реализации и развития солнечной энергетики, как способ оптимизации работы солнечной электростанции предложено использование нейронной сети.

Ключевые слова: автономность, солнечные электростанции, солнечная энергетика, солнечные элементы, концентрирование солнечной энергии, слежение за Солнцем, нейронная сеть, рекуррентная сеть Элмана.

## INCREASING THE EFFICIENCY OF A SOLAR POWER PLANT USING THE ELMAN NEURAL RECURRENT NETWORK

<sup>1</sup>Taran A.A., <sup>2</sup>Taran E.N.

PDO, GBOU DO "Sevastopol Station of Young Technicians", Sevastopol, Russia (299001, Sevastopol, Gorpishchenko St., 39), e-mail: <sup>1</sup>sunbut@yandex.ru, <sup>2</sup>taranelena23@yandex.ru.

The directions for improving solar power plants are analyzed, the obstacles to their implementation and the development of solar energy are shown, and the use of a neural network is proposed as a way to optimize the operation of a solar power plant.

Keywords: autonomy, solar power plants, solar energy, solar cells, concentrating solar energy, tracking the Sun, neural network, Elman recurrent network.

Преобразование солнечного излучения фотоэлектрическими преобразователями (ФЭП) одно из самых перспективных направлений в области возобновляемой энергетики. Развитие солнечной энергетики определяет ряд различных экономических, социологических и экологических факторов, имеющих огромное значение, для развития человечества в целом. Около 1 млрд. людей в мире не имеют доступа к централизованному энергоснабжению [5]. Развитие солнечной энергетики, в частности, солнечных электростанций (СЭ) на основе ФЭП может частично решить эту проблему.

Систематическое увеличение эффективности ФЭП с параллельным снижением их стоимости, очевидно, ведет к снижению себестоимости 1 Вт·ч, полученной от СЭ, и, несмотря на это, ФЭП являются самой дорогой частью СЭ. Также увеличению эффективности СЭ

способствует параллельное преобразование лучистой энергии Солнца подогрева воды или тепло-хладоснабжения.

Эффективное использование солнечной энергии в интересах широкого развития экологически чистой электроэнергетики возможно лишь в случае применения достаточно мощных солнечных фотоэлектрических установок, имеющих высокий КПД и относительно низкую стоимость. Эти противоречивые требования могут быть успешно удовлетворены при создании установок с системами слежения за Солнцем и концентрирования солнечного излучения с высокоэффективными гетероструктурными фотопреобразователями на основе соединений  $A^{III}B^V$ .

Указанные обстоятельства определяют целесообразность и перспективность развития работ по созданию солнечных фотоэлектрических установок с концентраторами излучения, которые успешно проводятся в настоящее время во многих странах. Суммарная мощность таких установок, изготовленных по индивидуальным проектам, составляет уже сотни киловатт при единичной мощности от 1 до 10 кВт и более.

Концентрирование солнечного излучения и слежение за Солнцем позволяет повысить КПД гетероструктурных ФЭП до 30% и более в однопереходных элементах и до 43% - в каскадных.

В реальных условиях при естественном воздушно-конвекционном охлаждении батареи фотоэлектрических преобразователей и концентрированном солнечном излучении равновесная температура может превышать  $100^{\circ}\text{C}$ . Увеличение рабочей температуры сопровождается уменьшением ширины запрещенной зоны, что дает некоторое увеличение фототока. Однако это увеличение фототока не компенсирует уменьшения напряжения холостого хода вследствие экспоненциального увеличения тока насыщения с ростом температуры, что приводит к существенному снижению КПД при увеличении температуры (рисунок 1). Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что любая система с концентраторами солнечного излучения требует систему охлаждения, для поддержания приемлемой температуры солнечных элементов [1, 2].

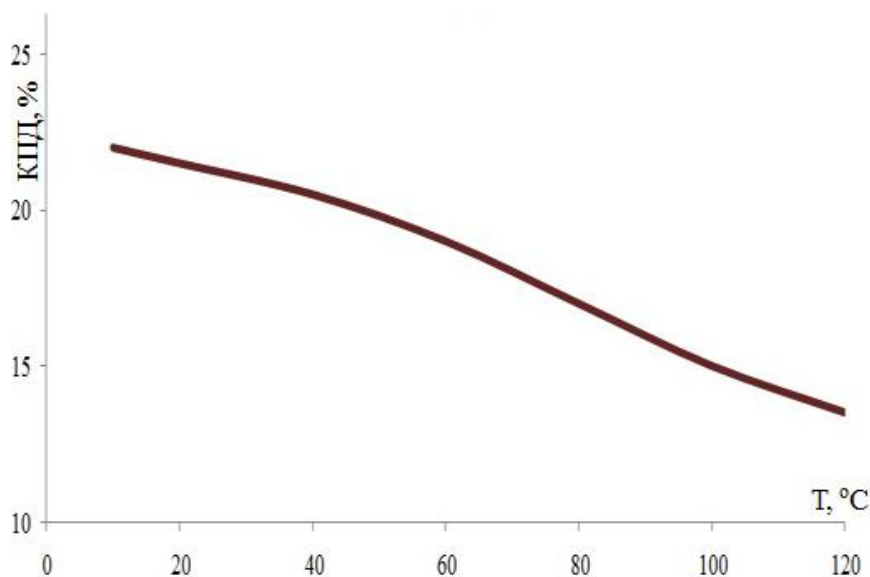


Рисунок 1 – Снижение КПД кремниевых фотоэлектрических преобразователей в зависимости от температуры.

Различные условия концентрации солнечного излучения требуют и различных типов систем наведения. Вместе с тем, по условиям конкурентоспособности, все системы наведения должны быть надежными и иметь минимально возможную стоимость. Конкурентоспособность определяется стоимостью и надежностью получения электроэнергии. Эти показатели находятся в противоречии, поэтому для выявления наиболее эффективного варианта необходимо добиться равенства одного из них, например, надежности. Причем показатель надежности должен быть на очень высоком уровне, так как при низкой надежности энергообеспечения эффективности вариантов сглаживаются.

Наибольшую надежность будет иметь вариант солнечной электростанции с резервированием топливной электростанцией. Однако если учесть общую стратегию развития солнечной энергетики (в конечном счете, полный отказ от углеводородного ископаемого топлива), то дублирование топливной электростанцией может рассматриваться, как промежуточный вариант, а более перспективным будет солнечная электростанция с аккумулированием электроэнергии.

С учетом вышесказанного, можно сделать вывод о необходимости системы управления, которая могла бы заниматься мониторингом всех периферийных систем солнечной электростанции, и, при необходимости принимать верное решение, позволяющее солнечной электростанции надежно функционировать в заданном режиме с необходимой вероятностью энергоснабжения, а также снизить затраты энергии на собственные нужды.

Проблемы автоматизации сложных технических объектов, которыми являются солнечные электростанции, и постоянно повышающиеся требования к надежности, заставляют искать более эффективные методы синтеза систем управления. Применение нейросетевых технологий, с различными алгоритмами самообучения, для решения проблем управления позволит создавать адаптивные нейросетевые динамические модели [3, 4].

Нейронная сеть позволяет обрабатывать информацию всеми звеньями параллельно и обладает способностью к обучению и обобщению накопленных знаний. Обученная на

ограниченном множестве данных сеть способна обобщать полученную информацию и показывать хорошие результаты на данных, не использовавшихся в процессе обучения. Существует несколько типов нейронных сетей, и для решения задач управления и автоматизации могут применяться как нейронные сети прямого распространения, так и сети с обратными связями [3]. Последние обладают более высокой аппроксимирующей способностью при сопоставимом количестве нейронов. Одной из сетей, применяемых в системах управления движущимися объектами, является сеть Элмана. Её главной особенностью является запоминание последовательностей. Поэтому для дальнейшего исследования была выбрана рекуррентная нейронная сеть Элмана, пример системы управления с использованием такой сети представлен на рисунке 2. Ее использование предполагает, что процесс управления имитируется выходным сигналом некоторой нелинейной динамической системы, возмущаемой некоторым множеством факторов (интенсивность солнечного излучения, температура, и т.п.), включая и прошлые состояния системы [4].

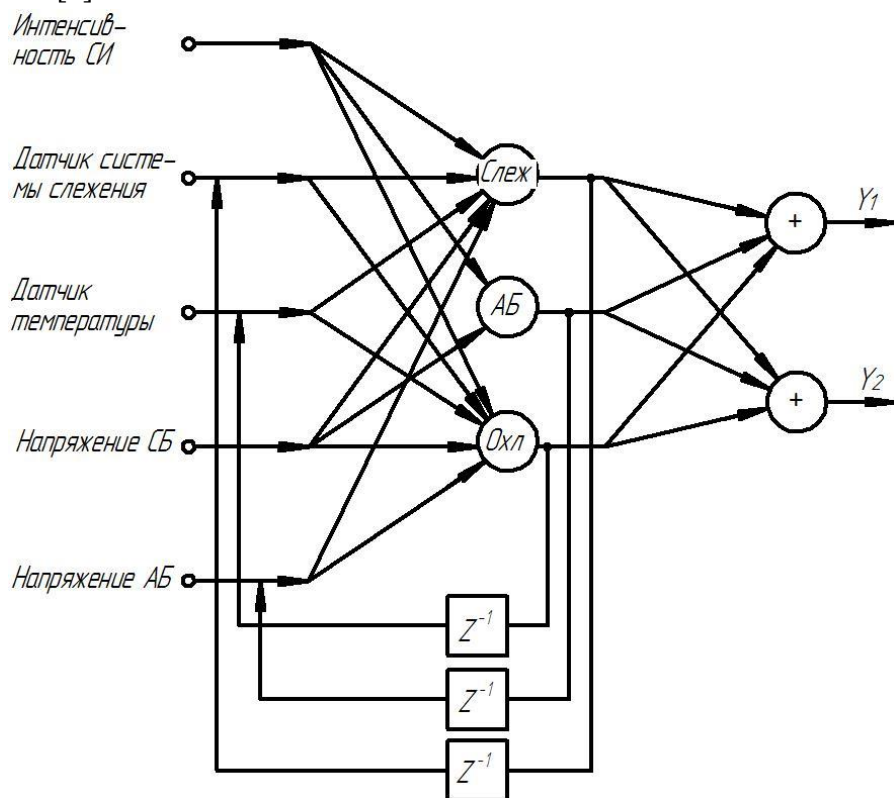


Рисунок 2 – Структура искусственной нейронной сети Элмана для оптимизации работы СЭ на основе ФЭП

Дж. Элман предложил в дополнение к традиционным скрытым и выходному слоям искусственной нейронной сети ввести в сеть дополнительный слой обратной связи, именуемый контекстным, или слоем состояний. Этот слой получает сигналы с выхода скрытого слоя и через элементы задержки  $Z^{-1}$  подает их на предыдущий слой, сохраняя, таким образом, обрабатываемую информацию с предыдущих тактов внутри сети. Элементами рассматриваемой здесь архитектуры являются стандартные нейроны с активационными функциями типа сигмоиды и элементы задержки  $Z^{-1}$ .

Существует три способа обучения, выбор которого определяется доступностью необходимой информации:

- обучение с учителем, когда для каждого входного вектора существует целевой вектор, представляющий собой требуемый выход, т.е. наличие обучающей пары, например, метод обратного распространения ошибки;
- обучение без учителя, когда сеть учится самостоятельно формировать выходные векторы для каждого вектора из обучающего множества, например, методом Хебба;
- смешанное обучение, часть весов определяется посредством обучения с учителем, а другая часть с помощью алгоритмов самообучения

Процесс обучения нейронной включает формирование обучающей выборки, содержащей сведения о моделируемом объекте, выполнение принятого алгоритма обучения сети и тестирование обученной нейронной сети.

Таким образом, предложенный подход, основанный на применении нейронных сетей Элмана, для построения системы управления солнечной электростанцией, позволит существенно сократить длительность настройки системы управления, и как следствие повысить качество производимой энергии и надежность всей системы в целом. Простота и быстрота предложенного решения обеспечит ей преимущество по сравнению с традиционными подходами, используемыми в настоящее время для решения этой задачи.

### Список литературы

1. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения / В. М. Андреев, В. А. Грилихес, В. Д. Румянцев; Отв. ред. Ж. И. Алферов; / Физ.-техн. ин-т им. А. Ф. Иоффе. - Л. : Наука : Ленингр. отд-ние, 1989. – 308 с.
2. Солнечные электростанции: концентраторы солнечного излучения : учеб.пособие для вузов / Д. С. Стребков, Э. В. Тверьянович ; под ред. Д. С. Стребкова. — 2-е изд., испр. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 265 с.
3. Применение нейронных сетей для задач управления /Краснов С.С. / Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики Материалы XII Международной научно-практической конференции: в 4-х томах. Том 1. Волжский университет им. В.Н. Татищева. 2015.
4. Классы рекуррентных нейронных сетей для моделирования нелинейных динамических систем / Соловьева Е.Б. / Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. Учредители: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина).
5. МЭА назвало количество людей в мире без доступа к электричеству // РИА Новости [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ria.ru/20191113/1560868852.html> (Дата обращения 28.12.2022).

### References

1. Photoelectric conversion of concentrated solar radiation / V. M. Andreev, V. A. Grilikhes, V. D. Romyantsev; Rep. ed. Zh. I. Alferov; / Phys.-tech. in-t im. A. F. Ioffe. - L.: Nauka: Leningrad. Department, 1989. - 308 p.

2. Solar power plants: concentrators of solar radiation: textbook for universities / D. S. Strebkov, E. V. Tveryanovich; ed. D. S. Strebkova. — 2nd ed., corrected. - М. : Yurayt Publishing House, 2019. - 265 p.
  3. Application of neural networks for control problems / Krasnov S.S. / Tatishchev Readings: Actual Problems of Science and Practice Materials of the XII International Scientific and Practical Conference: in 4 volumes. Volume 1. Volga University. V.N. Tatishchev. 2015.
  4. Classes of recurrent neural networks for modeling non-linear dynamic systems / Solov'eva E.B. / International Conference on Soft Computing and Measurement. Founders: St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI" them. IN AND. Ulyanov (Lenin).
  5. The IEA named the number of people in the world without access to electricity // RIA Novosti [Electronic resource] - Access mode: <https://ria.ru/20191113/1560868852.html> (Accessed 12/28/2022).
-