

ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ PID ДЕГРАДАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Я.Л. Кленицкий, студент 3 курса АЭФ

Научный руководитель: С.М. Барайшук, канд. ф.-м. наук, доцент

*УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет»,*

г. Минск, Республика Беларусь

Современная энергетика всё активнее использует солнечные фотоэлектрические системы, чья эффективность во многом зависит от стабильности и надёжности панелей. Одной из главных причин снижения производительности является потенциально индуцированная деградация (PID), вызванная миграцией ионов под действием электрического поля, что приводит к ухудшению фотоэлектрических параметров и значительным потерям мощности [1-2]. Раннее и точное выявление PID позволяет предотвратить значительные энергетические потери и повысить надёжность фотоэлектрических систем.

Нами предложен метод использования нейронных сетей для оптического распознавания PID на основе анализа изображений. Представлены основные принципы и методики обучения, а также результаты исследований, демонстрирующие эффективность предложенного подхода. Использование глубокого обучения автоматизирует процесс диагностики, повышая точность и снижая затраты на обслуживание.

Современные подходы активно применяют методы искусственного интеллекта и нейронных сетей, особенно для автоматического анализа оптических изображений, в том числе фотографий солнечных элементов, на которых PID проявляется в виде характерных тёмных дефектных зон. Это обеспечивает высокую точность диагностики и возможность масштабирования процессов технического обслуживания [3].

PID обусловлена миграцией ионов (например, натрия) из конструкции и окружающей среды внутрь текстолитовых слоёв и

кремниевого материала при наличии потенциалов порядка сотен вольт между фотоэлементами и землёй или рамой. Это ведёт к возникновению токов утечки, электрохимической коррозии p-n переходов и появлению токовых шунтов. PID имеет несколько видов: обратимый (поляризационный), при котором происходит накопление зарядов на поверхности, но при снятии напряжения панель восстанавливается; необратимый (электрохимический), связанный с физическим разрушением структуры, что ведёт к постоянным потерям мощности [1, 4].

Наиболее эффективными в обработке изображений являются сверточные нейронные сети (CNN). Они способны выделять пространственные признаки, включающие текстурные и цветовые особенности, которые характеризуют наличие и степень PID изображениях.

Для задачи классификации дефектов PID применяются различные архитектуры. Классические CNN, такие как AlexNet, VGG, позволяющие выявлять базовые признаки или предобученные модели, дообучаемые например Google Teachable Machine (рисунок 1) на специализированных выборках изображений для повышения точности [5-6].

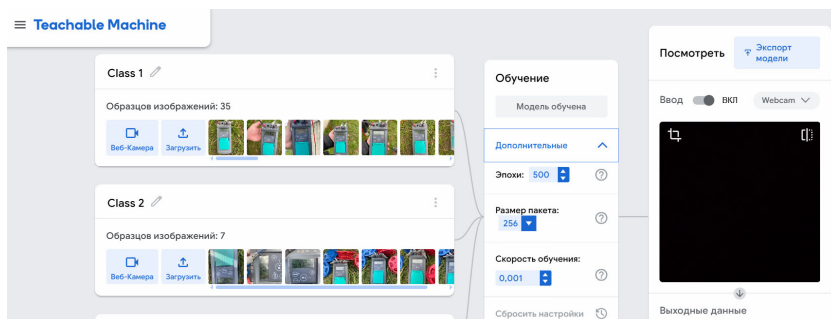


Рисунок 1 – Пример внешнего вида окна проверки модели Google Teachable Machine где Class 1 не содержит дефектов, а class 2 содержит.

Для качественного обучения модели нами был снят большой и разнообразный набор изображений с известной разметкой, включающей области с дефектами PID и без них. Фотоснимки получали как с помощью фотокамеры, так и при помощи нескольких различных смартфонов как в лабораторных, так и в полевых условиях.

Для повышения качества обучения в процессе подготовки и обработки данных применялась аугментация данных: вращение и масштабирование изображений, изменение яркости и контрастности, применение различных камер с уникальными настройками. Данные разбивались на обучающую и тестовую выборки, что позволяет контролировать качество модели.

Обучение проводилось с использованием функции потерь. Применялись методы регуляризации и адаптивные оптимизаторы. В ходе обучения сеть учится выделять характерные для PID признаки и минимизировать ошибки классификации.

Кросс-валидация помогает проверить стабильность модели на различных подвыборках данных. После обучения проводится тестирование модели на ранее невиданных данных для оценки реальной эффективности.

Автоматическое распознавание дефектов позволяет значительно ускорить процесс диагностики, облегчить контроль качества производимых и эксплуатируемых панелей, а также прогнозировать дальнейшее ухудшение состояния [7]. На тестовых примерах сети корректно маркируют тёмные участки, соответствующие зонам деградации, и устойчивы к различным помехам изображения.

Однако метод требует высокого качества исходных данных и регулярного обновления обучающих моделей с учётом новых условий эксплуатации и возможных изменений конструкции панелей. Только при значительном объеме данных результаты экспериментов показывают достаточную точность классификации моделей – порядка 80–82% при выявлении PID на изображениях полученных веб камерами, что существенно превосходит традиционные методы ручного анализа.

Дальнейшие перспективы связаны с интеграцией моделей в системы онлайн-мониторинга с использованием дронов и автоматизированных систем видеонаблюдения для диагностики, что позволит оперативно выявлять дефекты PID на солнечных станциях.

Обучение нейронных сетей для оптического распознавания PID деградации солнечных панелей – инновационный и эффективный подход, повышающий надёжность и экономичность фотоэлектрических систем. Использование современных методов глубокого обучения в сочетании с продвинутыми оптическими методами диагностики позволяет выявлять дефекты на ранних стадиях и оптимизировать процесс техобслуживания.

Литература

1. Потенциально-индуцированная деградация (PID) фотоэлектрических массивов [Электронный ресурс] // SolarHome. – URL: <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/potential-induced-degradation-pv-array.htm> (дата обращения: 15.08.2025).
2. Анализ видов деградации фотоэлектрических модулей и их вольтамперных характеристик / Д. Ю. Широков, А. В. Пашенцев, А. С. Григоров // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2021. – № 38. – С. 5–20. – DOI: <https://doi.org/10.15593/2224-9397/2021.4.01>.
3. Ученые создали нейросеть для контроля качества солнечных батарей [Электронный ресурс] // ТАСС Наука. – URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/18782191> (дата обращения: 15.08.2025).
4. Изучение потенциально индуцированной деградации элементов для оптических ИК-газоанализаторов / С. М. Барайшук [и др.] // Материалы и структуры современной электроники : материалы XI Международной научной конференции, Минск, 16–18 октября 2024 г. - Минск : БГУ, 2025. – С. 23–27.
5. Разработка системы обнаружения дефектов солнечных панелей на основе алгоритма YOLO v5 / А. А. Белов, А. В. Моисеев, Д. С. Кренделев // Датчики и системы. – 2022. – Т. 25, № 4. – С. 34–44. – DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700814-202204-04>.
6. Analysis of YOLO Models for Solar Panel Defect Detection // 2025 5th International Conference on Power Electronics, Computing and Control (ICPECC). – 2025. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/ICPECA63937.2025.10928871.
7. Разработка и исследование методов и средств диагностики фотоэлектрических модулей и станций : дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / Белов Алексей Александрович. – Новосибирск, 2021. – 145 с.

УДК 621.316; 004.8

ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АКУСТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

М.И. Есипович, студент 3 курса АЭФ

Научный руководитель: С.М. Барайшук, канд. ф.-м. наук, доцент
*УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет»,*

г. Минск, Республика Беларусь

Асинхронные электродвигатели составляют основу электропривода в различных отраслях промышленности. Их отказ может привести к значительным финансовым потерям, связанным с простоем производства, дорогостоящим ремонтом и ущербом от выпуска бракованной продукции. В этой связи задачи мониторинга