

СКОРОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ КПД СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ТЕЧЕНИЕМ ВРЕМЕНИ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Сюмак И. Ю, Артеменко А. А, Пятосин А. В.

Хорошко В. В. – канд. техн. наук, доцент

Существенный рост электроэнергии получаемой человечеством от возобновляемых источников энергии в последние десятилетия, в частности, от солнечных электростанций приводит к потребности в долгосрочном прогнозировании стабильности работы последних. В данной статье рассмотрены модели деградации наземных модулей и систем, полученных на основе обзора 200 различных научных статей за период 1990-2016.

Способность точно прогнозировать базовые параметры, определяющие уровень выработки электроэнергии, и их изменение с течением времени имеет принципиальное значение для роста электронных систем на возобновляемых источниках энергии. Основными параметрами при построении моделей деградации являются: начальный КПД солнечных модулей; скорость изменения КПД с течением времени. Уменьшение выработки электроэнергии от модуля важно оценивать со следующих точек зрения: коммунальных служб, интеграторов, инвесторов и исследователей. Говоря о финансовой стороне вопроса деградация фотогальванического модуля или системы переводится в меньшую мощность и, следовательно, снижает будущие прибыли, а неточности в определенных показателях деградации приводят, к увеличению финансового риска.

С точки зрения науки и техники изучение механизмов деградации важно для определения путей улучшения поставляемых солнечных модулей (СМ), посредством введения дополнительных операций при производстве и сертификации. Замедление основного механизма деградации посредством экспериментов и моделирования приводит к увеличению жизненного цикла солнечных электростанций в целом. Наблюдения за СМ в естественной среде важны поскольку это типичная операционная среда для фотоэлектрических систем и это единственный способ сопоставить внутреннее ускоренное тестирование с результатами на открытом воздухе для прогнозирования полевых характеристик [1].

На основе анализа данных по СМ, расположенным в западной Европе была построена гистограмма распределения скоростей деградации КПД в год (рисунок 1). Суммированные показатели представляют собой долгосрочные показатели деградации и не включают кратковременную, вызванную светом деградацию. Снижение производительности определяется как положительная степень деградации. И наоборот, отрицательная ставка указывает на улучшение. Данные по деградации получены преимущественно для монокристаллических (около 80 % публикаций) и поликристаллических (около 20 % публикаций) СМ.

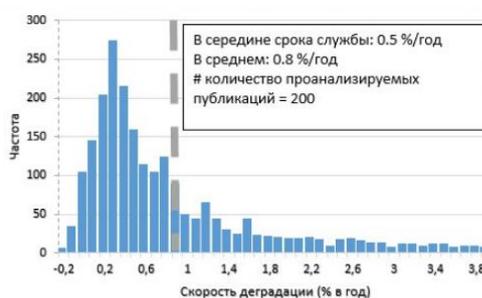


Рисунок 1 – Темпы деградации

Распределение смещено в пользу высоких темпов деградации со средним значением 0,8% год и в среднем 0,5% год.

Как видно из гистограмм, несмотря на меры, направленные на устранение последствий кратковременной деградации, вызванной светом (light induced degradation-LID), особенно для СМ на основе аморфного кремния, его влияние не может быть полностью исключено. По мере увеличения долговечности модуля за последние три десятилетия, соответственно, увеличились гарантийные срок модулей. Типичная гарантия производителя модуля, превышает продолжительность полевых испытаний в течение последних 25 лет. Только за последние 5 лет были проведены исследования, которые соответствуют или превосходят стандартную модульную гарантию. Ниже приведены данные, связывающие деградацию СМ и технологию изготовления [2].

Моно и поликристаллический кремний. Поскольку кремниевые солнечные элементы (СЭ) являются наиболее разработанной технологией, существуют большие объемы данных по испытаниям превышающих показатель в 20 лет. За этот период неоднократно была зафиксирована повышенная скорость деградации всей системы по сравнению с деградацией СМ. Коэффициент деградации модуля был незначительным: от 0.8 до 1 % в год, а скорость деградации системы в целом была около 2% в год.

LID была связана с загрязнением кислородом в объеме Si-соединения, а постепенная долговременная деградация коррелировала линейно с воздействием ультрафиолета. Так же было обнаружено увеличение последовательного сопротивления СМ и как следствие уменьшение коэффициента заполнения модуля (FF), что подтвердили аналогичные испытания более чем 200 элементов. При этом взаимосвязи внешнего вида поликристаллических СЭ с электрическими характеристиками обнаружено не было [3].

Аморфный-Si. Установлено, что минимальная температура на открытом воздухе является определяющим фактором для долговременных стабилизированных характеристик. Деградация зависела от электрической нагрузки: она была быстрее в условиях холостого хода, чем в условиях короткого замыкания. Скорость деградации составляет до 2% в первые три года работы и далее имеет тенденцию к уменьшению. Стоит отметить, что принципиальная невозможность исключения эффекта Стеблера-Вронского, относительно невысокий КПД привели к значительному спаду СМ на основе аморфного кремния.

Теллурид кадмия(CdTe). Анализ СМ на основе CdTe показал изменения КПД отдельных модулей в широких пределах, причем КПД некоторых из них улучшался более чем на 10%, в то время как для других ухудшался более чем на 10% в течение 6-летнего периода испытаний. В целом система деградирует примерно на 0.6 % год. Близкие параметры были получены для СЭС, расположенных в жарком и сухом климате. Кроме того, СМ в умеренном климате оказалась практически стабильными [4]. Применение токсичного кадмия и двусторонняя нестабильность параметров, которая проявляется в первую очередь за счет изменения тока короткого замыкания и тока в точке максимальной мощности существенно сдерживают прогресс в использовании данного типа СМ.

Таким образом, была обобщена статистика деградации параметров СЭ, зарегистрированных и измеренных на отдельных модулях или целых системах, были собраны литературные данные, показывающие скорость деградации 0,8% - 1 % в год. В большинстве случаев, можно говорить о степени деградации <1% / год. В течение последнего десятилетия показатели деградации тонкопленочных солнечных элементов и модулей на их основе значительно улучшились, хотя и остаются на уровне 1% в год. Такой процент деградации удовлетворителен для обеспечения 25-летних коммерческих гарантий, но не позволяет в равной мере конкурировать с кремниевыми СЭ и СМ. Различие между скоростями деградации модулей и системы, наблюдавшимися на раннем этапе развития СЭС, сузилось, что привело к существенному улучшению стабильности.

Несмотря на прогресс, достигнутый за последнее десятилетие, некоторые интересные вопросы, такие, как линейность и точное воздействие климата до конца изучены не были. В настоящее время существует накопленный опыт работы СЭС на местах, что позволяет гарантировать стабильную работу солнечной установки на протяжении 25 лет и более с заявленными параметрами.

Список использованных источников:

- [1] Fuller, M., S. Portis, S. and M.D. Kammen (2009), "Towards a low-carbon economy: municipal financing for energy efficiency and solar power", *Environment*, 51 (1), 22 – 32.
- [2] Ardani, K et al. (2013), Non-Hardware ("Soft") Cost-Reduction Roadmap for Residential and Small Commercial Solar Photovoltaics, 2013-2020, NREL/TP-7A40-59155, NREL, Golden, CO, United States.
- [3] Green, M.A., et al. (2015), "Silicon wafer-based Tandem Cells: the ultimate PV solution?" 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, September.
- [4] PVPS IA (Implementing Agreement for a Co-operative Programme on Photovoltaic Power Systems) (2014), PV Cost Data for the IEA, personal communication, January.