

УДК 621.31/.37, 658.5

СТАНДАРТИЗАЦИЯ РЕМОНТОВ, ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ
STANDARDIZATION OF REPAIRS, REUSE OF PHOTOVOLTAIC
MODULES

В.А. Фомина, В.В. Куделко

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Fomina, V. Kudelko

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В статье рассматривается стремительный рост глобальной проблемы – накопление фотоэлектрических отходов. Исследуются модели циркулярной экономики, применимые к солнечной энергетике, с акцентом на критическую необходимость стандартизации процессов ремонта, повторного использования и рециклинга ФЭ модулей.

Abstract: The article discusses the rapid growth of a global problem – the accumulation of photovoltaic waste. Circular economy models applicable to solar energy are investigated, with an emphasis on the critical need to standardize the processes of repair, reuse and recycling of PV modules.

Ключевые слова: солнечная энергетика, повторное использование, ремонт, фотоэлектрические модули, отходы.

Keywords: solar energy, reuse, repair, photovoltaic modules, waste.

Введение

Солнечная энергетика утвердилась в качестве одного из столпов глобального энергетического перехода. Установленная мощность фотоэлектрических систем в мире измеряется тераваттами и продолжает расти. Однако экологический имидж «чистой» энергии омрачается растущей проблемой отходов. Средний срок службы ФЭ модуля составляет 25-30 лет, что означает, что волна модулей, установленных в начале «бума» (2000-е годы), уже начинает достигать конца жизненного цикла. Более того, брак, повреждения при транспортировке и монтаже, а также выход из строя вследствие экстремальных погодных явлений создают поток «досрочных» отходов.

Основная часть

Традиционная линейная экономическая модель, в которой модули производятся, используются и утилизируются на свалках, неприемлема по нескольким причинам:

- Экологическая: Модули содержат тяжелые металлы (свинец, кадмий), которые могут выщелачиваться в почву и грунтовые воды;
- Экономическая: Захоронение на свалках приводит к безвозвратной потере ценных материалов, таких как стекло, алюминий, медь, серебро и высокочистый кремний;
- Ресурсная: Добыча первичного сырья для производства новых модулей

энергоемка и создает значительную нагрузку на окружающую среду.

Циркулярная экономика (ЦЭ) предлагает альтернативную парадигму, направленную на минимизацию отходов и максимальное использование ресурсов. В контексте фотовольтаики ЦЭ фокусируется на трех основных стратегиях: ремонт и повторное использование, рециклинг и восстановление материалов. Успешная реализация этих стратегий невозможна без всеобъемлющей стандартизации.

Наиболее эффективный с точки зрения ресурсосбережения подход – продление срока службы модулей. Это достигается за счет: стандартизированной диагностики, ремонтпригодного дизайна, создания рынка отремонтированных модулей. Стандартизированная диагностика представляет собой разработку единых протоколов для быстрого и точного определения неисправностей (микротрещины, горячие точки, деградация EVA-пленки, выход из строя диодов).

Что касается дизайна, то конструкция модуля должна позволять заменять отдельные компоненты или поврежденные участки проводников без разрушения всей ламинационной структуры. Это требует пересмотра используемых герметиков и ламинационных процессов. Для модулей, бывших в употреблении или прошедших ремонт, необходима система сертификации, которая будет гарантировать остаточную производительность и безопасность.

Модули, снятые с промышленных солнечных электростанций первого цикла (после 20-25 лет работы), часто сохраняют 80-85% своей первоначальной мощности. Они могут найти успешное применение в менее требовательных секторах: для автономного энергоснабжения, в развивающихся странах или в образовательных проектах. Ключевым барьером является отсутствие стандартизированных методов тестирования и оценки остаточной стоимости.



Рисунок 1 – Отходы от солнечных панелей [1]

Когда ремонт и повторное использование становятся невозможными, вступает в силу рециклинг. Его можно разделить на два основных типа:

- Механический рециклинг: дробление модулей с последующей сепарацией материалов. Данный метод относительно прост, но дает материалы низкой чистоты, пригодные в основном для строительной индустрии;
- Высокотехнологичный (термический и химический) рециклинг.

- Термический метод: пиролиз или кальцинация для удаления полимерной пленки, которая связывает слои модуля. Это позволяет разделить стекло и кремниевые пластины. Для химического метода используются растворители (например, органические или ионные жидкости) для селективного растворения EVA и металлических контактов. Это наиболее перспективный путь для извлечения чистого серебра и кремния [2].

Для решения проблем с отходами и ремонтом предлагаются несколько вариантов: сократить количество используемых полимеров, переход на легко отделяемые друг от друга и перерабатываемые материалы; разработка модулей, которые легко разбирать на составляющие без применения разрушающих методов; внедрение цифровых паспортов изделий, что важно для автоматической сортировки и эффективного рециклинга. Необходимо создание централизованных пунктов сбора, а также разработка единых правил для сбора, хранения и транспортировки отработанных модулей.

Развитие циркулярной экономики в солнечной энергетике невозможно без создания благоприятных экономических условий. Благоприятно будет влиять появление субсидий, налоговых льгот для предприятий, занимающихся высокотехнологичным рециклингом. Большой толчок даст приоритет для компаний, демонстрирующих использование модулей с высоким содержанием вторичного сырья, создание бирж и стандартизированных контрактов на торговлю материалами, бывших в употреблении.

Заключение

Ключом к успеху служит комплексная стандартизация, которая должна быть заложена уже на этапе проектирования новых поколений модулей. Только скоординированные усилия производителей, законодателей, научного сообщества позволят превратить надвигающийся поток отходов из экологической угрозы в источник ценного вторичного сырья, замыкая цикл и делая солнечную энергетику по-настоящему возобновляемой в полном смысле этого слова.

Литература

1. Вредны ли солнечные батареи для здоровья человека и окружающей среды? [Электронный ресурс] / А. Смирнов // Все об альтернативной энергетике : сайт. – 2016. – Режим доступа: <https://tcip.ru/blog/solar-panels/vredni-li-solnechnye-batarei.html>. – Дата доступа: 01.11.2025.
2. Солнечная энергетика: история, плюсы и минусы [Электронный ресурс] // [Electricalschool.info](http://electricalschool.info) : справочник. – 2023. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/energy/2305-solnechnayaenergetika-istoriya-plyusy-i-minusy.html>. – Дата доступа: 02.11.2025.