УДК 621.3
DOI: 10.53015/18159958_2024_20_1_39

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

USE OF RELIABILITY THEORY TO DEVELOP PERFORMANCE EVALUATION SYSTEMS FOR RENEWABLE ENERGY FACILITIES

©2024
Зацепин Евгений Петрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры электрооборудования
Павлов Иван Владимирович, аспирант кафедры электрооборудования
Zatsepin Evgeny Petrovich, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Electrical Equipment
Pavlov Ivan Vladimirovich, postgraduate student of the Department of Electrical Equipment

Липецкий государственный технический университет, Липецк (Россия)
Lipetsk State Technical University, Lipetsk (Russia)

E-mail: grecha1917@gmail.com
E-mail: ezats@mail.ru

Аннотация: Системы возобновляемой энергетики, такие как ветряные турбины и солнечные батареи, важны для сокращения парниковых газов и представляют собой экологически чистую альтернативу ископаемому топливу. Однако для их эффективного использования необходимо учитывать экономические, социальные, экологические аспекты, а также критерии надежности. Цель данного исследования — изучить интеграцию в энергетику на основе теории надежности, с целью обеспечения наиболее высокой точности оценок, влияющих на проектирование и принятие решений. Это включает обзор существующих методов и мер защиты, а также разработку процедур для повышения мощности и надежности энергосистем.

Ключевые слова: системы электроснабжения, возобновляемые источники энергии, устойчивость, анализ надежности, оценка устойчивости, электрическая нагрузка.

Для цитирования: Зацепин Е.П., Павлов И.В. Использование теории надежности для разработки систем оценки эффективности объектов возобновляемой энергетики // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2024. – Т. 20, № 1 (70). – С. 39–50. DOI: 10.53015/18159958_2024_20_1_39.

Abstract: Renewable energy systems such as wind turbines and solar panels are important for the reduction of greenhouse gases and represent an environmentally friendly alternative to fossil fuels. However, economic, social, environmental aspects as well as reliability criteria need to be considered for their effective utilization. The aim of this study is to investigate energy integration based on reliability theory, in order to ensure the highest accuracy of assessments affecting design

and decision making. This includes a review of existing methods and protection measures, as well as the development of procedures to improve the capacity and reliability of power systems.
Keywords: power supply systems, renewable energy sources, sustainability, reliability analysis, sustainability assessment, electrical load.

For citation: Zatsepin E.P., Pavlov I.V. Use of reliability theory to develop performance evaluation systems for renewable energy facilities // Vesti of Higher Educational Institutions of the Chernozem region. – 2024. – Vol. 20, № 1 (75). – P. 39–50. DOI: 10.53015/18159958_2024_20_1_39.

ВВЕДЕНИЕ

Зеленая энергетика, или возобновляемая энергетика, строится на принципах использования природных ресурсов. Возобновляемые источники энергии постоянно возобновляются и не исчерпываются, в отличие от ископаемого топлива, которое ограничено. Использование возобновляемых источников энергии важно для перехода к более чистой и устойчивой энергетике. Однако важно учитывать их надежность, поскольку неожиданные перебои в подаче электроэнергии могут привести к финансовым потерям.

Анализ надежности включает вероятностный анализ, анализ отказов и моделирование, чтобы оценить способность систем обеспечивать стабильное и надежное электроснабжение [1]. Надежность является ключевым фактором в доступности и производительности этих систем, и включение мер безопасности может улучшить понимание их производительности [2].

Целью данного исследования является разработка инструментов для точной оценки устойчивости систем возобновляемых источников энергии, что поможет политикам и исследователям в развитии более совершенных и эффективных энергетических систем.

ТЕОРИЯ ВОПРОСА

Оценочные методы могут быть применены ко многим системам возобновляемой энергетики, таким как ветряные турбины, солнечные батареи и электростанции. Результаты этих оценок сравниваются с мерами безопасности, что помогает оценить производительность системы в различных условиях и выявить возможности для улучшения.

Исследование характеристик чувствительности рекомендуется для оценки эффективности проверки системы на соответствие изменениям в параметрах и входных данных [3]. Это позволяет выявить наиболее важные факторы, влияющие на производительность и надежность процесса проектирования, чтобы сбалансировать и повысить точность измерений. Таким образом, можно определить критические точки, которые требуют особого внимания для обеспечения стабильной работы системы.

Системы устойчивого развития на основе принципа достоверности могут быть объединены с другими системами обеспечения устойчивости, такими как Три базовых уровня. Три базовых уровня представляют собой способ оценки деятельности компаний, определяющий не только экономические результаты компании, но и ее влияние на социальную сферу и окружающую среду [4]. Интеграция различных концепций устойчивого развития помогает лучше оценить показатели устойчивости систем возобновляемой энергетики и способствует разработке целостных стратегий устойчивого развития.

Объединив меры безопасности, основанные на принципе достоверности, с целями устойчивого развития, можно оценить не только надежность и безопасность энергетики, но и безопасность использования ее возможностей. Возобновляемые источники энергии также способствуют достижению глобальных целей развития. Такая интеграция позволяет измерить не только экономическую эффективность возобновляемых

источников энергии, но и их социальное воздействие и влияние на окружающую среду. Это помогает учесть различные факторы безопасности при оценке систем возобновляемой энергетики и разработать эффективные стратегии для решения финансовых, социальных и экологических проблем.

Кроме того, рекомендуется проводить долгосрочную оценку систем возобновляемой энергетики с помощью теста на стабильность, основанного на надежности [5]. Это помогает выявить любые долгосрочные проблемы, которые могут быть не сразу очевидны при краткосрочной оценке. На заключительном этапе следует оценить последствия системы с точки зрения политики и то, как она может быть использована для поддержки разработки политики устойчивого развития энергетики. Это может включать изучение того, как система может быть использована для распространения информации о поддержке возобновляемых источников энергии и как она может быть использована для поддержки разработки норм устойчивого развития.

При разработке системы оценки безопасности важно учитывать этические и социальные вопросы. Это включает в себя выявление, обсуждение и согласование с органами местного самоуправления, чтобы обеспечить устойчивое и справедливое развитие проектов возобновляемой энергетики. Это также включает в себя учет воздействия на окружающую среду при оценке устойчивости и включение метрик для измерения этого воздействия.

ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сначала необходимо четко определить область оценки, включая оцениваемые системы возобновляемой энергии и период оценки [7]. Далее следует проанализировать факторы надежности, такие как частота отказов, время простоя и затраты на техническое обслуживание, применительно к оцениваемой системе возобновляемых источников энергии.

Кроме того, необходимо определить ключевые вопросы устойчивости, затрагивающие рассматриваемую возобновляемую энергию, такие как выбросы парниковых газов, водопользование и землепользование.

Затем следует создать метрики для каждого из показателей надежности и долговечности, которые должны быть количественными и измеримыми [6]. Каждой шкале необходимо присвоить шкалу важности, основанную на ее относительной важности по отношению к измерениям шкалы и надежности.

После этого необходимо собрать данные по различным показателям, определенным в ходе выполнения шагов.

Эта информация может быть получена из различных источников, таких как данные от производителей, государственные органы и внешние аудиторы. Наконец, индекс устойчивости системы возобновляемой энергетики, основанный на надежности, рассчитывается по соответствующей формуле (1):

$$RBSI = \frac{\sum R_i \cdot W_i}{\sum S_i \cdot W_i}. \quad (1)$$

где: R_i – показатели надежности; W_i - весовой коэффициент для показателей надежности; S_i - показатели устойчивости.

Эти шаги позволяют комплексно оценить устойчивость систем возобновляемой энергетики, учитывая как технические, так и экологические аспекты, что важно для развития более стабильной и эффективной энергетической инфраструктуры.

Устойчивая энергетика опирается на три основные принципа: энергетическая безопасность, качество жизни и экологическая устойчивость [8]. Каждый из этих принципов включает в себя значимые социальные, экономические, экологические и технологические аспекты.

Энергетическая безопасность может быть понимаема как энергетическая независимость или рассматриваться в

региональном контексте, учитывая взаимосвязи и торговлю.

Для достижения этого необходима реализация технологий с низкими или нулевыми выбросами углерода. Регионам следует повышать осведомленность и разрабатывать информационные кампании для всех заинтересованных сторон, подчеркивая важность развития устойчивой энергетической системы.

Кроме того, необходимо создать четкую нормативно-правовую базу и структуру энергетической системы, которая позволит эффективно внедрять и интегрировать все технологии в эту систему [9]. Возобновляемая энергетика базируется на природных ресурсах, включая солнечное излучение, водные потоки, ветер, приливные течения и геотермальные источники.

Основная концепция использования возобновляемой энергии состоит в том, чтобы извлекать ее из непрерывных процессов окружающей среды или из возобновляемых органических ресурсов и применять ее в техническом контексте.

Возобновляемые источники энергии обычно имеют гораздо меньший углеродный след, чем традиционные источники энергии, что способствует борьбе с изменением климата. Кроме того, возобновляемые источники энергии никогда не иссякнут, в отличие от нефти, газа и угля, которые являются конечными ресурсами.

Несмотря на энергетический кризис, возобновляемая энергетика продолжает расти рекордными темпами. Этот рост свидетельствует о стойкости возобновляемых источников энергии в сложных энергетических условиях. Энергетический переход требует кардинальных изменений, которые обеспечили бы стратегический сдвиг, выходящий за пределы декарбонизации сферы снабжения.

Любой прирост новых невозобновляемых энергетических мощностей должен быть связан с работой по ускорению энергетического перехода для достижения большей стойкости системы, ее инклюзивности и устойчивости к изменению климата. Программа должна быть адаптирована к конкретным условиям измерения возобновляемой энергии, и важно, чтобы весовые коэффициенты, придаваемые различным параметрам, также могли быть скорректированы для достижения конкретных целей измерения. Система также может быть обновлена с течением времени по мере поступления новой информации или изменения целей и приоритетов оценки [10].

Необходимо принять во внимание показатели надежности для конкретной анализируемой возобновляемой энергии, такие как частота отказов, время простоя и стабильность системы. Эти показатели должны быть измеримыми и поддаваться измерению, что подразумевает точный сбор и анализ соответствующих данных, таких как данные о неисправностях и техническом обслуживании, а также показатели надежности. Также необходимо учитывать пределы и границы показателей надежности.

Не все показатели надежности подходят или применимы во всех ситуациях, а некоторые показатели могут быть неточными или необъективными. Важно, чтобы показатели надежности оценивались последовательно и на протяжении всего процесса, чтобы индекс надежности был разработан с учетом воздействия на системы возобновляемых источников энергии, чтобы обеспечить актуальность всех показателей. Это включает в себя четкое указание рассматриваемых показателей надежности, присвоение соответствующих весов и включение показателей надежности в расчет индекса надежности, основанного на безопасности. Следуя этим принципам, можно определить энергоэффективность и производительность для измерения устойчивости систем возобновляемой энергетики.

Показатели устойчивости являются инструментами, используемыми для измерения и оценки экологических, социальных и экономических показателей организации или деятельности. Они включают такие показатели, как углеродный след, который измеряет общее количество монооксида углерода, выброшенного конкретной организацией или предприятием; водный след, который позволяет произвести подсчет

использованного количества воды, прямо или косвенно используемой организацией.

Другие важные показатели включают индекс корпоративной устойчивости, который измеряет экологическую, социальную и коммерческую устойчивость организации; балл устойчивости, который позволяет организации сравнивать свои экологические, социальные и экономические показатели с другими организациями; показатели здоровья, которые измеряют здоровье и благополучие людей, включая здоровье, образование и занятость; и индекс качества жизни, который измеряет здоровье и благосостояние общества, включая здоровье, образование, занятость и доступ к основным услугам. Эти показатели позволяют комплексно оценить устойчивость систем возобновляемой энергетики, учитывая экологические, социальные и экономические аспекты, что важно для развития более стабильной и эффективной энергетической инфраструктуры.

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НАДЕЖНОСТИ

Одним из наиболее распространенных методов моделирования является прототипирование, которое представляет собой метод моделирования с использованием обратной связи и временных параметров. Этот подход может быть использован для моделирования взаимодействия между различными показателями ремонтопригодности и надежности и того, как изменения в одном из них влияют на производительность всей системы. Например, прототипирование может быть использовано для разработки моделей производительности, чтобы оценить, как изменения в техническом обслуживании повлияют на надежность и срок службы систем возобновляемых источников энергии.

Анализ жизненного цикла (АЖЦ) представляет собой метод оценки экологического воздействия продукта или процесса на протяжении всего его жизненного пути, начиная от добычи сырья и заканчивая утилизацией отходов.

Этот подход позволяет оценить устойчивость систем возобновляемой энергетики, учитывая такие аспекты, как выбросы парниковых газов, энергопотребление и истощение ресурсов.

Интегрируя показатели надежности с АЖЦ, можно реализовать систему оценки надежности на основе безопасности. Кроме того, моделирование методом Монте-Карло является способом количественной оценки неопределенности и риска, связанных со сложными процессами. Этот метод может быть использован для оценки надежности работы системы возобновляемых источников энергии путем моделирования возникновения различных неисправностей и оценки затрат и технического обслуживания. Интеграция элементов устойчивости в модель с помощью этого подхода приводит к доверительным измерениям устойчивости.

Эти методы моделирования не являются взаимоисключающими и могут быть объединены для получения более точной оценки производительности и уверенности в мощности. Выбор метода моделирования будет зависеть от конкретного контекста оцениваемой возобновляемой энергии и цели оценки.

При управлении моделями Монте-Карло для создания доверительных оценок безопасности систем возобновляемой энергетики необходимо следовать нескольким ключевым критериям. Прежде всего, необходимо определить различные понятия, которые влияют на надежность и стабильность анализируемой системы. Эти переменные могут включать в себя цену простоя, стоимость медицинских услуг и окружающую среду, влияющую на физическую активность.

После определения входных переменных необходимо определить распределение вероятностей, которое описывает вероятность различных значений для каждой входной переменной. Эти классификации могут быть основаны на достоверных

данных, мнениях экспертов или других источниках информации. Затем на основе распределения вероятностей формируется случайная выборка каждой переменной. Размер выборки должен быть достаточно большим, чтобы обеспечить достоверность результатов.

В прошлом эффективность возобновляемых источников энергии моделировалась с помощью случайной выборки, включая оценку времени простоя и затрат на обслуживание. Индекс надежности (RBSI - Rank-Based Similarity Index) может быть рассчитан на основе результатов моделирования Монте-Карло для оценки стабильности и надежности индекса. После расчета RBSI результаты интерпретируются для оценки стабильности и надежности возобновляемых источников энергии. Где это возможно, результаты оценки могут быть использованы для выработки рекомендаций по совершенствованию систем возобновляемой энергетики с целью повышения их устойчивости и надежности.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Фотоэлектрические панели представляют собой устройства, преобразующие солнечную энергию в электричество. Поскольку значение возобновляемых источников энергии растет во всем мире, становится важным оценить устойчивость этих систем. Предлагаемый процесс оценки безопасности поможет оценить способность фотоэлектрических систем обеспечивать стабильное и надежное электроснабжение в долгосрочной перспективе. Эти оценки включают в себя экологические факторы, выбросы парниковых газов и водопотребление, а также экономические и социальные аспекты. Разработка методов оценки надежности фотоэлектрических систем может помочь в проектировании и эксплуатации более надежных систем в будущем.

Существует множество исследований, которые могут способствовать повышению точности оценки стабильности солнечных систем с помощью модели Монте-Карло. Одним из вариантов является создание новой модели Монте-Карло, которая подходит для условий наблюдения за солнечными батареями и учитывает соответствующие показатели стабильности и надежности. Такие модели могут измерить производительность солнечной системы при различных погодных условиях и поведении пользователей и помочь определить наиболее важные факторы, влияющие на устойчивость и надежность.

Другой вариант - провести исследование реальной солнечной системы, чтобы оценить ее стабильность и надежность с помощью моделирования Монте-Карло. Эта информация может быть использована для проверки точности и эффективности имитационной модели, а также для разработки лучших практик и рекомендаций по оценке устойчивости фотоэлектрических систем.

Оценка жизненного цикла представляет собой подход, позволяющий оценить экологическое воздействие продукта или процесса на всех этапах его существования, начиная от добычи сырья и заканчивая утилизацией. Этот метод включает в себя анализ добычи, производства, транспортировки, использования и конечного применения, а также утилизации. Он помогает выявить экологические проблемы в продуктах или процессах и предлагает пути повышения их устойчивости.

Первым шагом при проведении оценки жизненного цикла является определение цели и масштаба исследования. В данном случае целью является измерение воздействия фотоэлектрических панелей на окружающую среду в течение всего срока их службы. Исследование включает в себя сырье, дизайн панелей, транспортировку, установку и отделку.

Следующий шаг - сбор данных о материалах и продуктах, входящих в жизненный цикл солнечной панели, включая стоимость электроэнергии и выбросы в атмосферу, воду и почву. Сюда входят такие сырьевые материалы, как кремний, стекло и алюминий, а также затраты на энергию для производства и транспортировки.

Третий этап включает оценку потенциального экологического воздействия солнечной панели на протяжении всего ее жизненного

цикла, основанную на данных, полученных во время инспекции продукта. При этом учитываются различные категории воздействия, такие как вклад в глобальное потепление, потенциал подкисления, потенциал эвтрофикации и потенциал токсичности для человека.

Последний шаг - интерпретация результатов и определение областей, в которых устойчивость жизненного цикла фотоэлектрической системы может быть улучшена. Это могут быть такие стратегии, как снижение энергозатрат, использование переработанных материалов или улучшение процедур конечной утилизации. Для того чтобы провести качественное исследование, необходимо решить, какие виды воздействия на окружающую среду следует оценивать.

Таблица 1

Классификация воздействий на окружающую среду, рассматриваемых в исследованиях по оценке жизненного цикла солнечных панелей

Table 1

Classification of environmental impacts considered in solar panel life cycle assessment studies

Категория воздействия на окружающую среду	Описание
Воздействие парниковых газов на глобальное потепление.	Это мера, обычно выражаемая в эквиваленте углекислого газа (CO2e), которая оценивает потенциальное воздействие парниковых газов на глобальное потепление.
Воздействие кислотных организмов на почву и водные выбросы.	Эта мера обычно выражается в единицах эквивалента диоксида серы (SO2e) и оценивает потенциальное воздействие кислотных организмов на почву и водные выбросы.
Воздействие избытка питательных веществ на экосистему.	Эта мера обычно выражается в эквивалентах азота или фосфора (N или P) и оценивает потенциальное воздействие избытка питательных веществ на экосистему.
Воздействие загрязнителя на здоровье человека.	Эта мера обычно выражается в единицах токсического эквивалента и оценивает потенциальное воздействие загрязнителя на здоровье человека.
Воздействие озоноразрушающих веществ на озоновый слой.	Эта мера обычно выражается в единицах озоноразрушающего потенциала и оценивает потенциальное воздействие озоноразрушающих веществ на озоновый слой.

Производство и использование фотоэлектрических энергетических продуктов оказывают значительное влияние на окружающую среду на всех этапах их жизненного цикла. Каждый этап, начиная с добычи сырья и заканчивая завершением, приводит к выбросам парниковых газов и загрязнению окружающей среды.

Производство солнечных панелей является энергоемким процессом, который часто требует использования ископаемого топлива для производства электроэнергии, что приводит к выбросам парниковых газов и других загрязняющих веществ. Кроме того, производство фотоэлектрических элементов включает в себя химически грязные процессы, которые могут пагубно влиять на экологию. Стоки и отработанные газы могут загрязнять землю, воду и воздух, представляя потенциальную угрозу для всего живого вокруг этих предприятий.

Транспортировка материалов и готовых солнечных панелей также может вносить свой вклад в загрязнение окружающей среды, особенно если используются транспортные средства, работающие на ископаемом топливе. Установка солнечных панелей на сельскохозяйственных землях может вызвать обеспокоенность по поводу

продовольственной безопасности и конкуренции за землепользование.

Сам процесс выработки энергии с помощью солнечных панелей не загрязняет окружающую среду, поскольку он не требует сжигания топлива и не выделяет вредных веществ в атмосферу, воду или почву. Однако окончательная утилизация солнечных панелей представляет собой серьезную проблему, поскольку они содержат токсичные редкоземельные элементы. Несмотря на это, некоторые компании уже осуществляют безопасную утилизацию старых солнечных батарей без вреда для окружающей среды. Хотя производство солнечных панелей сопряжено с некоторыми экологическими проблемами, общий экологический эффект солнечной энергетики остается положительным. Солнечные электростанции сокращают выбросы загрязняющих веществ и ядохимикатов благодаря чистому способу генерации энергии.

Таблица 2

Используемые подходы к анализу жизненного цикла солнечных батарей

Table 2

Approaches used to analyze the life cycle of solar cells

Методология	Описание
Моделирование на основе процессов	Моделирование воздействия на окружающую среду каждого этапа жизненного цикла солнечной панели включает в себя анализ материальных и энергетических затрат, а также выбросов. Это позволяет оценить экологическое воздействие солнечных панелей на всех этапах, начиная с добычи сырья и заканчивая утилизацией.
Моделирование на основе ввода-вывода	Моделирование также учитывает роль воздействия жизненного цикла солнечных панелей на бизнес-процессы и товарный поток различных продуктов. Это помогает понять, как экологические аспекты влияют на производственный цикл и товарный поток, что важно для оптимизации бизнес-процессов и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.
Гибридное моделирование	Моделирование сочетает в себя модели, основанные на процессах, и производственные модели, позволяющие отразить экономические и социальные аспекты производственного цикла, включая срок службы солнечной панели, а также детальные экологические аспекты производственного процесса. Это комплексный подход позволяет оценить все аспекты производственного цикла, включая экономические, социальные и экологические факторы, что важно для разработки устойчивых и эффективных производственных стратегий.

Исследования демонстрируют, что уже к 2011 году солнечные панели компенсировали выбросы, связанные с их производством, а к 2018 году они существенно уменьшили общий уровень загрязнения атмосферы. Солнечная энергетика оказывает в целом положительное воздействие на окружающую среду и финансовые показатели, несмотря на определенные экологические недостатки на этапах производства и утилизации. Улучшение технологий и процедур утилизации может еще больше снизить негативное воздействие на окружающую среду, что важно для повышения

устойчивости и экологической безопасности солнечной энергетики.

Измерение срока службы солнечных панелей имеет решающее значение для понимания экологических и социальных последствий их производства и использования. Анализ жизненного цикла этих панелей включает в себя оценку воздействия на окружающую среду, экономику и общество на всех этапах, начиная с добычи сырья и заканчивая утилизацией. Для анализа жизненного цикла фотоэлектрических панелей существуют различные методы, выбор которых зависит от целей анализа и наличия данных. Эти методы позволяют комплексно оценить устойчивость солнечных панелей, учитывая экологические, экономические и социальные аспекты.

Анализ жизненного цикла предполагает оценку экологического воздействия на всех этапах, от добычи сырья до утилизации. Этот процесс включает в себя анализ энергетических затрат, выбросов парниковых газов, загрязнения воды и почвы, а также влияния на землепользование и биоразнообразие. Экономическая оценка должна учитывать расходы на производство, транспортировку, монтаж и обслуживание солнечных панелей.

Необходимо учитывать потенциальные экономические выгоды от использования солнечной энергии, такие как снижение энергетических расходов и создание рабочих мест в секторе возобновляемой энергетики.

Социальная оценка включает в себя анализ воздействия на общество, включая

здоровье и благополучие людей, занятость и доступ к основным услугам. Это также предполагает рассмотрение социальных последствий производства и использования солнечных панелей, таких как влияние на местные сообщества и трудовые ресурсы.

Оценка всего срока службы солнечной панели должна давать полную картину ее устойчивости, включая экологию, экономику и общество. Это позволяет выявить ключевые области, которые нуждаются в улучшении, и разработать стратегии для минимизации негативного воздействия на окружающую среду и повышения общей устойчивости солнечной энергетики.

Таким образом, комплексный анализ жизненного цикла солнечных панелей обеспечивает детальное понимание их экологических, экономических и социальных последствий, что важно для развития более устойчивой и эффективной энергетической инфраструктуры.

Оценка срока службы солнечной панели представляет собой сложную задачу, требующую применения множества методов и методик. Для оценки экологических, экономических и социальных последствий использования солнечной энергии разработано множество инструментов и методов.

Оценка экологических последствий использования солнечной энергии предполагает анализ воздействия на окружающую среду на всех этапах существования солнечных панелей.

Этот процесс включает рассмотрение энергетических затрат, выбросов парниковых газов, загрязнения водных и почвенных ресурсов, а также влияния на землепользование и биоразнообразие. Испытания на срок службы и модели жизненного цикла являются ключевыми инструментами для оценки этих факторов.

Экономическая оценка должна учитывать затраты на производство, транспортировку, установку и обслуживание солнечных панелей. Кроме того, необходимо рассматривать потенциальные экономические выгоды от использования солнечной энергии, такие как снижение затрат на электроэнергию и создание рабочих мест в отрасли возобновляемой энергетики. Срок службы солнечных панелей, который обычно составляет от 20 до 30 лет, также влияет на экономическую окупаемость инвестиций.

Социальная оценка включает в себя анализ воздействия на общество, включая здоровье и благополучие людей, занятость и доступ к основным услугам.

Таблица 3

Классификация воздействий на окружающую среду, рассматриваемых в исследованиях по оценке жизненного цикла солнечных панелей

Table 3

Classification of environmental impacts considered in solar panel life cycle assessment studies

Рекомендация	Описание
Снижение воздействия на окружающую среду при добыче и производстве сырья.	Меры по уменьшению негативного воздействия на окружающую среду, связанного с добычей и производством сырья. Включает в себя меры по сокращению загрязнения почвы, воды и воздуха, а также минимизацию образования и скопления опасных отходов.
Сокращение энергопотребления и выбросов парниковых газов, связанных с производством солнечных панелей.	Производство солнечных панелей должно быть оптимизировано для снижения энергопотребления и выбросов парниковых газов. Это может быть достигнуто за счет использования более эффективных технологий переработки.
Повторное использование и переработка материалов, снижение скопления опасных отходов.	Меры переработки материалов должны быть усилены, чтобы уменьшить образование опасных отходов и снизить потребность в первичных ресурсах. Это способствует более устойчивому производственному циклу. Допускается повторное использование переработанных материалов.
Сокращение выбросов парниковых газов и зависимости от ископаемого топлива.	Необходимо сократить выбросы парниковых газов и уменьшить зависимость от ископаемого топлива. Это может быть достигнуто за счет перехода на возобновляемые источники энергии и оптимизации производственных процессов.
Анализ и учет воздействия на окружающую среду всего жизненного цикла продукта, от разработки до утилизации в конце срока эксплуатации.	Важно учитывать воздействие на окружающую среду на всех этапах жизненного цикла продукта, начиная с разработки и заканчивая утилизацией в конце срока службы. Это включает в себя оценку экологических последствий добычи сырья, производства, использования и утилизации.

Это также предполагает рассмотрение социальных последствий производства и использования солнечных панелей, таких как влияние на местные сообщества и трудовые ресурсы.

Для оценки срока службы солнечных панелей используются различные методы, включая испытания на срок службы и модели Монте-Карло. Испытания на срок службы позволяют оценить фактическую долговечность солнечных панелей, а модели Монте-Карло помогают количественно оценить неопределенность и риск, связанные со сложными процессами.

По мере того, как солнечные энергетические системы приобретают все большее значение в переходе к экономике с низким энергопотреблением, исследования и разработка мер безопасности становятся важными для обеспечения успеха и процветания в будущем. Устойчивое развитие солнечной энергетики требует детального понимания экологических, экономических и социальных последствий использования солнечной энергии, что может быть достигнуто с помощью комплексных методов оценки. Таким образом, оценка срока службы солнечной панели является важнейшим аспектом обеспечения устойчивости и эффективности солнечной энергетики, и ее проведение требует применения различных методов и инструментов для

полного понимания экологических, экономических и социальных последствий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для надежного определения устойчивости систем возобновляемой энергетики необходимо учитывать множество технических и социальных факторов. Помимо анализа срока службы, надежность повторяющегося процесса можно оценить с помощью таких методов, как анализ дерева отказов, модели Маркова и диаграммы надежности. Это позволяет выявить критические отказы, спрогнозировать время простоя и затраты на ремонт, а также разработать стратегии повышения надежности.

Оценка устойчивости должна учитывать не только воздействие на окружающую среду, но и другие показатели, такие как экономическая ценность и социальная справедливость. Это позволяет разработать систему оценки общей безопасности систем возобновляемых источников энергии и выявить компромиссы и синергию между показателями безопасности. После определения наиболее важных экологических проблем и проблем надежности можно использовать методы оптимизации для определения наилучших инструментов, производственных процессов и стратегий обслуживания для обеспечения эффективности и надежности.

Важно учитывать социальные и этические последствия производства и использования возобновляемых источников энергии, включая такие вопросы, как права работников, здоровье человека и экологическая справедливость. Это обеспечит более комплексную основу для оценки устойчивости системы и определения стратегий повышения энергоэффективности.

В данном исследовании рассматривается существующая литература по оценке долговечности систем возобновляемых источников энергии, изучаются модели надежности и разрабатываются оценки на основе надежности. Полученные данные показывают, что система оценки надежности на основе потенциала может обеспечить более точную оценку долговечности систем возобновляемых источников энергии. В этом исследовании также определены области будущих исследований, такие как анализ настроений и исследования интеграции с другими системами. В целом, система оценки эффективности на основе надежности способствует разработке более надежных и прочных инноваций. Таким образом, оценка устойчивости систем возобновляемой энергетики требует комплексного подхода, учитывающего технические, социальные и экологические аспекты, чтобы обеспечить их надежность и эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зацепина В.И., Астанин С.С. Анализ надежности системы электроснабжения с учетом отказоустойчивости релейной защиты. Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2020. Том 26. №. 4. С. 564-570, 2020.

2. Зацепина В.И., Астанин С.С. Итоговая надёжность электроснабжения и систем релейной защиты и автоматики. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 10. С. 280-283.

3. Аклан, Ф., Мустафа, С., и Ахмад, А. Международное агентство по возобновляемым источникам энергии. Затраты на производство энергии из возобновляемых источников в 2019 году. Оценка устойчивости и надежности ветроэнергетических систем. Возобновляемая энергия. 2020. № 139. С. 1095-1108.

4. Дахал, Г., Пандей, С., и Лохани, С. Обзор надежности систем возобновляемых источников энергии: Концепции, методологии и будущие направления исследований. Renewable Energy. 2020. № 160. С. 728-741. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.029.

5. Зацепина В.И., Зацепин Е.П., Скоморохов П.И. Повышение эффективности функционирования систем электроснабжения посредством комбинированного воздействия на искажения напряжения. Энергетика: исследования, оборудование, технологии.

2019. № 21(5). С. 79-86. https://doi.org/10.30724/1998-9903-2019-21-5-79-86

6. Сингх, Р. К., Мурти, Х. Р., Гупта, С. К., и Дикшит, А. К. Обзор методологий оценки су-достижимости. Ecological Indicators. 2017. № 15(1). С. 281-299.

7. Ванг, Х., и Го, С. Анализ надежности системы возобновляемых источников энергии: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019. № 99. С. 101-110. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.032

8. Ванг, П., и Сун, В. Оценка надежности подключенных к сети фотоэлектрических систем с учетом климатических и монтажных факторов. Возобновляемая энергия. 2019. № 136. С. 841-853.

9. Яздани, С., Джеффри, П., де Нейфвиль, Р. Система управления устойчивостью систем городской инфраструктуры с использованием интегрированной байесовской сети и робастного подхода к оптимизации. Reliability Engineering & System Safety. 2017. № 167. С. 250-263.

10. Чжан, Х., Фу, Ж., Ван, Л., и Ли, З. Метод оценки устойчивости систем хранения энергии с использованием подхода многоцелевой оптимизации на основе надежности. Прикладная энергетика, 2018. № 230, С. 1193-1203.

REFERENCES

1. Zatsepina V.I., Astanin S.S. Analysis of reliability of electrical supply system with including relay protection failure. Bulletin of Tambov State Technical University. 2020. Vol. 26. № 4. P. 564-570, 2020.

2. Zatsepina V.I., Astanin S.S. Final reliability of power supply and relay protection and automation systems. Izvestia Tula State University. Technical sciences. 2020. № 10. P. 280-283.

3. International Renewable Energy Agency. Costs of producing energy from renewable sources in 2019. Aklan, F., Musta-fa, S., & Ahmad, A. (2019). Sustainability and reliability assessment of wind energy systems. Renewable Energy. 2020. № 139. P. 1095-1108.

4. Dahal, G., Pandey, S., & Lohani, S. A review of reliability of renewable energy systems: Concepts, methodologies and future research directions. Renewable Energy. 2020. № 160. P. 728-741.
https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.029.

5. Zatsepina V.I., Zatsepin E.P., Skomorokhov P.I. Increase of efficiency of functioning of power supply systems by means of the combined influence on voltage distortions. Energetika: researches, equipment, technologies. 2019. № 21(5). P. 79-86. https://doi.org/10.30724/1998-9903-2019-21-5-79-86

6. Singh, R. K., Murthy, H. R., Gupta, S. K., and Dikshit, A. K. A review of methodologies for assessing sous-tainability. Ecological Indicators. 2017. № 15(1). P. 281-299.

7. Wang, H., and Guo, S. Reliability analysis of renewable energy system: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019. № 99. P. 101-110. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.032

8. Wang, P., and Sun, W. Reliability assessment of grid-connected PV systems considering climate and installation factors. Renewable Energy. 2019. № 136. P. 841-853.

9. Yazdani, S., Jeffrey, P., de Neufville, R. A resilience management system for urban infrastructure systems using an integrated Bayesian network and robust optimization approach. Reliability Engineering & System Safety. 2017. № 167. P. 250-263.

10. Zhang, X., Fu, J., Wang, L., & Li, Z. A method for assessing the stability of energy storage systems using reliability-based multi-objective optimization approach. Applied Energy, 2018. № 230, P. 1193-1203.