

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ И ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Эскендер Бекиров, Надежда Фурсенко

Национальная академия природоохранного и курортного строительства  
95493, АРК, г. Симферополь, ул. Киевская, 181  
e-mail.: napks\_eif@mail.ru

**Аннотация.** Исследованы характеристики экологической безопасности при строительстве и эксплуатации солнечных и ветровых электростанций. Рассмотрены вопросы производства элементов солнечных батарей и землеотведения для возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, возобновляемая энергетика, солнечные и ветровые электростанции, энергосбережение.

### ВВЕДЕНИЕ

Возобновляемые нетрадиционные источники энергии в настоящее время находят широкое применение во всех странах, в связи с исчерпаемостью традиционных источников, работающих на угле, нефти, газе, радиоактивных элементах. По сравнению с другими видами энергетика возобновляемая энергетика является одной из наиболее безопасных в экологическом отношении [13]. Несмотря на то, что альтернативные, возобновляемые источники использовались и в прошлом, вопросу экологической безопасности их применения уделялось мало внимания, т.к. считалось, что они являются экологически чистыми.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Солнечные электростанции (СЭС) и ветровые электростанции (ВЭС) являются недостаточно изученными объектами с точки зрения влияния на экологию. Это направление является актуальным во всем мире. Основной целью данной статьи является изучение влияния СЭС и ВЭС на окружающую среду и здоровье людей.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи: рассмотреть и сравнить экологические параметры различных методов производства электроэнергии; оценить землеемкость различных типов энергоустановок; дать сравнительную характеристику отрицательного влияния традиционных и нетрадиционных энергоустановок на окружающую среду.

Воздействие на экологию разных типов электростанций зависит от того на каком этапе своего существования они находятся: производство, эксплуатация или утилизация. Например, солнечные электростанции наносят наименьший вред окружающей среде во время эксплуатации. Поэтому необходимым является рассмотреть их влияние на каждом из этих этапов в отдельности [9].

Анализировать экологическую эффективность СЭС и ВЭС будем в сравнении с такими традиционными источниками энергии, как атомные электростанции (АЭС), теплоэлектростанции (ТЭС) различных видов, гидроэлектростанции (ГЭС).

Очевидно, что увеличение экономической эффективности возобновляемой энергетика приводит к увеличению её конкурентно-способности по сравнению с традиционной. С учетом их существенно более высокой экологической безопасности, применение нетрадиционных источников энергии приводит к уменьшению негативного влияния на окружающую среду. Таким образом, рассмотрение их экономической эффективности также является целесообразным.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Наибольшая социально-экологическая опасность солнечных фотоэлектрических установок на фотоэлементах связана с производством, в ходе которого происходит переработка значительного количества вредных для здоровья человека и окружающей среды веществ, так как одними их основных компонентов фотоэлементов являются кремний, галлий, арсенид, кадмий, теллур, фосфор, бор, селен, окись кремния. Например, окись кремния, пары кадмия могут привести к легочным и бронхиальным заболеваниям, отрицательно сказываются на органах дыхания. Воздействие небольших доз кадмия приводит к накоплению в почках, размягчению и деформации костного состава скелета. Поэтому, производство фотоэлектрических установок на основе полупроводниковых материалов должно быть экологически безопасным, автоматизированным, удаленным от населенных пунктов [2, 14]. Кроме того, выработавшие свой ресурс фотоэлементы также содержат описанные выше вредные вещества, поэтому их транспортировка, хранение и ликвидация должны осуществляться в соответствии

с государственными стандартами, в частности должны соблюдаться целостность упаковки, температурный режим и отсутствие в воздухе паров кислот и щелочей [12].

При производстве и эксплуатации ветряных электростанций также может оказываться негативное влияние на окружающую среду. В частности, изготовление ветрогенераторов требует использования специальных эмалей для покрытия их корпусов и лопастей. При изготовлении эмалированных изделий используется фритта, которую получают путем измельчения и плавки. В основе фритты лежит фтор. Во время плавки фтор, испаряясь, образует фтористый водород (плавиковая кислота), которая является одной из наиболее опасных кислот и воздушными потоками может разноситься, оказывая вредное влияние в любом районе на растительность, выжигая ее. Поэтому должны применяться специальные меры защиты самих производств [1].

Кроме солнечных панелей и ветрогенераторов на электростанциях применяются различные устройства преобразования, накопления, передачи электроэнергии, такие как трансформаторы, соединительные провода и др. При изготовлении такого типа оборудования используются лаки, компаунды, смолы, летучий состав и пары которых также отрицательно влияют на здоровье человека. Экологические проблемы возникают с необходимостью аккумуляции энергии. Использование электрических аккумуляторов и их последующая утилизация, связанная с извлечением токсичного свинца и электролитов.

При производстве солнечных элементов (СЭ) применяются несколько этапов получения чистого поликристаллического кремния, способы превращения ископаемого кремния в монокристаллические и поликристаллические листы в непрерывном технологическом процессе очистки. Перспективным считается и применение химического взаимодействия кремния с четырехфтористым кремнием. При этом реализуется извлечение кремния из расплава, его очистка и химическое осаждение из паров в течение одной стадии технологического процесса.

Стандартный технологический процесс, позволяющий получать монокристаллический солнечный элемент псевдоквадратной формы основан на выращивании кристаллов методом Чохральского с последующей резкой пластин с помощью алмазных лент и их шлифовкой абразивным порошком, что является вредным для здоровья человека. Таким образом, в солнечной фотоэнергетике наиболее вредным для человека и окружающей среды является технологический процесс получения СЭ, их хранение и утилизация.

По некоторым оценкам [3], для производства 1 Мвт·год солнечного электричества потребуются затрат времени и людских ресурсов в

40 раз больше, чем в традиционной энергетике на органическом топливе (уголь, мазут, природный газ).

При крупномасштабном производстве фотоэлементов повышается уровень загрязнений на предприятиях микроэлектронной промышленности, производящих фотоэлементы. Фотоэлементы содержат ядовитые вещества – свинец, Кадмий, галлий, мышьяк, индий, используемые с целью повышения эффективности преобразования, а их производство потребляет массу других опасных веществ. Срок службы фотоэлементов 30 – 50 лет и затем стоит вопрос их утилизации, который не имеет пока приемлемого с экологической точки зрения решения. Поэтому в настоящее время исследуются возможности замены соединениями кадмия и другим токсичным веществам при производстве современных фотоэлементов.

Другим аспектом отрицательного фактора солнечной энергетике на социально-экологические условия является большая землеёмкость СЭС из-за рассеянного характера поступления солнечной радиации на Землю. Удельная землеёмкость СЭС лежит в пределах от 0,001 до 0,006 га/кВт. В Крыму построено несколько СЭС прямого действия и величина удельной землеёмкости составляет 0,00213 га/кВт [9].

Объем выработанной электроэнергии на Крымской СЭС-5 (1990г., Щёлкино) за период эксплуатационного освоения составил 490 тыс. кВт·ч, что обеспечило замещение в энергосистеме 193,5 т органического топлива (бурый уголь). Реально предотвращен выброс в окружающую среду:

- дымовых газов – 2 200 000 м<sup>3</sup>;
- золы уноса – 34,8 т;
- двуокиси серы – 3,9 т;
- окиси азота – 0,9 т;
- пятиокиси ванадия – 0,4 кг;
- бензопирена – 0,3 т.

Несмотря на небольшие цифры первых результатов эксплуатационного освоения СЭС-5, работавшей в объединенной энергосистеме как источник электрической энергии мегаваттного класса, доказана реальная возможность устранения опасных загрязнений окружающей среды при производстве электрической энергии [6].

Уровень радиоактивных загрязнений в различных точках технологической схемы СЭС-5:

- поверхность земли в районе башни – 20 мкР/час;
- поверхность панелей солнечного парогенератора (СПГ) во время работы – 10 мкР/час;
- поверхность конструкций СПГ внутренняя – 10 мкР/час.

Таким образом, уровень радиоактивности как во время работы СПГ, так и в нерабочем состоянии соответствует естественному фону (для зоны строительства 10 – 20 мкР/час) и не наносит

никаких экологических нарушений в окружающую среду [7, 11]. По проведенному эксперименту безопасная для человека энергетическая мощность одного гелиостата в перерасчете на солнечное излучение составляет 15 – 20 кВт.

СЭС занимает значительную территорию. Наиболее перспективным видам земледелия на СЭС представляется выращивание лаванды – эфиромасличной культуры. С точки зрения энергетических технологий, посадка под гелиостатами многолетних насаждений эфиромасличных культур обеспечит закрепление почвы и снижения пылеобразования, что уменьшит загрязнение поверхности оптической системы СЭС и увеличит энерговыработку.

В настоящее время в Крыму введено несколько СЭС прямого действия. Мощность нагрузки СЭС, введенных в эксплуатацию, составляет 220 МВт, площадь застройки – 434 га, годовая выработка электроэнергии СЭС 330 000 Мвт·ч, сокращен выброс CO<sub>2</sub> – 226 т.

Под мощные ВЭС необходима площадь из расчета от 5 до 15 МВт/км<sup>2</sup> в зависимости от розы ветров и местного рельефа района. Для ВЭС мощностью 1000 МВт потребуется площадь от 70 до 200 км<sup>2</sup>. Выделение таких площадей в курортных регионах сопряжено с большими трудностями.

Мощность ВЭС в Крыму – 67,7 МВт, количество сэкономленного топлива – 183 517 т.у.т., масса сокращенных выбросов диоксида углерода – 89 671 т, площадь застройки 677 га.

Расположение ВЭС в пустынных областях приводит к возникновению эрозии почв, а станции, расположенные в прибрежных районах, служат помехой для судоходства. Работа ветротурбин создает проблемы звуковых и ультразвуковых воздействий на объекты окружающей среды. При близком расположении к жилищам людей возникают болезни сердца, звон в ушах, головокружение, мигрень. Генерируемый ветротурбинами инфразвук вызывает вибрацию костей.

ВЭС могут исказить:

- естественное движение воздушных потоков;
- электромагнитное воздействие, влияющее на работу телевидения, радиаторных установок;

Башня должна быть массивной и прочной, чтобы выдержать массу громадного генератора и вибрации, возникающие при его работе. Происходит разрушение турбин, возгорание, при проектом сроке работы турбин 20-30 лет, разрушение иногда происходит через 5 лет [15].

Показательным является таблица сравнения экологических параметров различных методов производства электроэнергии (табл. 1)

Для сравнения с другими типами энергетических установок в таблице 2 приведены экспертные оценки их землеемкости. Из таблицы 2 видно, что получение 1 МВт на башенной солнечной электростанции (БСЭС) требует 1,1 га земли, на солнечных фотоэлектрических установках (СФЭУ) от 1,6 до 2 га, солнечных прудах – до 8 га, для ВЭС – до 10 га, что весьма ощутимо для обжитых регионов.

Солнечная энергетика относится к наиболее материалоемким видам производства энергии. Согласно расчетам [3] для изготовления простейших коллекторов солнечного излучения площадью 1 км<sup>2</sup> требуется примерно 10 тыс. т алюминия. Создание глобальной системы гелиоэнергетики поглотило бы до 20 % известных мировых ресурсов железа. СЭС заметно материалоемки: металл, бетон, стекло и другие компоненты. Для альтернативных источников низкий коэффициент готовности – коэффициент использования установленной мощности, который составляет для солнечной и ветровой энергии 20-40 %, в основном из-за зависимости от погодных условий, для гидроэнергетики – 50 %, ядерной энергетики – 80-90 %. Поэтому для возобновляемых источников энергии необходимо использовать электрические аккумуляторы, либо водородную энергетику.

Таблица 1. Экологические параметры работы электростанций  
Table 1. Environmental parameters of power plants

Вид электростанции	Объем выбросов в атмосферу, м <sup>3</sup> /Мвт·ч	Расход свежей воды, м <sup>3</sup> /Мвт·ч	Сброс сточных вод, м <sup>3</sup> /Мвт·ч	Объем твердых отходов, кг/Мвт·ч	Изъятие земель, га/Мвт·ч	Затраты на охрану природы, % общих затрат	
Солнечная	-	-	0,02	-	2-3	-	
Ветровая	-	-	0,01	-	1-10	1	
Геотермальная	1	-	-	-	0,2	1	
Энергия биомассы	2-10	20	0,2	0,2	0,2-0,3	-	
ТЭС	уголь	20-35	40-60	0,5	200-500	1,5	30
	газ	2-15	2-5	0,2	0,2	0,5-0,8	10
ГЭС	-	-	-	-	100	2	
АЭС	-	70-90	0,5	0,2	2,0	50	

Таблица 2. Землеемкость разных типов энергетических установок  
Table 2. Specific land area used by different types of power plants

Тип	БИО энергетика	ГЭС	ВЭС	Солнечный пруд	ГеоТЭС	АЭС	СФЭУ	ТЭС без топливной базы	БСЭС
га/МВт	20	10	10	8	1,9	0,65-2,0	1,6-2,0	1,17	1,1

В приведенных значениях землеемкости не учитываются изъятие земли на стадиях добычи и обработки сырья. В случае создания СЭС с солнечными прудами удельная землеемкость повысится и увеличится опасность загрязнения подземных вод рассолами (Табл. 3)

Применение солнечных концентраторов вызывает затенение земель, что приводит к изменениям почвенных условий, растительности. Нежелательное экологическое действие в районе расположения станции вызывает нагрев воздуха при прохождении через него солнечного излучения, сконцентрированного зеркальными отражателями.

Это приводит к изменению теплового баланса влажности, возможны перегрев и возгорание систем, использующих концентраторы. Применение низкокипящих жидкостей в солнечных коллекторах и их утечки в солнечных энергетических системах во время длительной эксплуатации могут привести к загрязнению питьевой воды. Особую опасность представляют жидкости, содержащие хроматы и нитриты, являющиеся высокотоксичными веществами.

Для учета отрицательного влияния различных типов энергоустановок на окружающую среду в настоящее время предложено несколько различных методик, предусматривающих штрафной экологический балл [5]. Эти баллы рассчитаны с учетом факторов воздействия на окружающую среду. Чем больше количество баллов получил каждый способ производства электричества, тем более вредное его воздействие (табл. 4) [4, 10]. Расчет проводился с учетом всех технологических операций.

Экономические законы и опыт развития мировой экономики показывают, что рациональная структура использования природных ресурсов в долгосрочной перспективе стремится к структуре имеющихся их запасов на Земле. Учитывая, что 1 кг кремния в солнечных элементах вырабатывает за 30 лет 15 МВт·ч электроэнергии при существующей в настоящее время технологии его изготовления и при к.п.д. равным 14 % можно посчитать нефтяной эквивалент кремния. При подсчете электроэнергии 15 МВт·ч с учетом теплоты сгорания нефти 43,7 МДж/кг дает 1,25 т нефти на 1 кг кремния. Если к.п.д. ТЭС, работающей на мазуте равно 33 %, то 1 кг кремния по вырабатываемой электроэнергии эквивалентен примерно 3,75 т нефти [8].

Важными показателями экономической эффективности любых типов энергоустановок являются значения  $K_N^{y\partial}$  (г/кВт) и  $K_9^{y\partial}$  (г/кВт·ч), то есть удельные капиталовложения в 1 кВт установленной мощности и цена электроэнергии, производимой на энергоустановке. Из-за совершенствования технологий и роста масштабов производства, возобновляемых нетрадиционных источников энергии в мире, значения  $K_9^{y\partial}$  и  $K_N^{y\partial}$  снизились в десятки раз, а указанные показатели на традиционных типах электростанций значительно выросли и имеют тенденцию к росту в силу объективных факторов и возобновляемая энергетика становится более конкурентоспособной в топливно-энергетическом комплексе.

Таблица 3. Площади отчуждаемых земель для выработки 1 Мвт·год электроэнергии  
Table 3. Area of alienated land to generate 1 MW of electricity per year

Тип электростанции	АЭС	ТЭС			ГЭС	Солнечный	Ветряной
		мазут	уголь	газ			
Площадь, га	6,3	9	15	24	2650	1000	1700

Таблица 4. Штрафной экологический балл для различных видов используемого источника электроэнергии

Table 4. Environmental penalty points for different types of used energy sources

Топливо / технология	Штрафной экологический балл
Бурый уголь	1735
Нефтяное топливо	1398
Каменный уголь	1356
Ядерное топливо	672
Солнечные фотоэлектрические элементы	461
Природный газ	267
Ветер	65
Малые ГЭС	5

## ВЫВОДЫ

К положительным сторонам использования солнечных и ветровых электростанций можно отнести следующее:

1) возобновляемые нетрадиционные источники энергии являются экологически более безопасными в процессе эксплуатации;

2) согласно приведенным таблицам, очевидно, что солнечные фотоэлектрические установки на солнечных электростанциях, ветроэлектростанции и солнечные тепловые станции обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными типами электростанций, использующими невозобновляемые источники энергии. Также данные типы станций обладают значительно более низким штрафным экологическим баллом;

3) тенденция к уменьшению стоимости 1 кВт электроэнергии благодаря совершенствованию производства.

К негативным сторонам использования солнечных и ветровых электростанций можно отнести следующее:

1) негативное влияние на окружающую среду при производстве и утилизации отдельных элементов электростанций;

2) в работе был проведен анализ использования земельных площадей для различного типа электростанций. На основании которого можно сделать вывод, что землеёмкость СЭС и ВЭС является более высокой, что приводит к необходимости использования больших площадей земли для выработки такого же количества энергии по сравнению со многими традиционными электростанциями;

3) начальные финансовые вложения в создание солнечных и ветровых электростанций велики в виду высокой стоимости оборудования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Безруких П.П., 2008. Использование энергии ветра. Техника, экономика, экология. – М.: Колос, Гелиос. – 196.

2. Болятко В.В., Демин В.М., Евланов В.В., Ксенофонтов А.И., Скотникова О.Г., 2008. Основы экологии и охраны окружающей среды: Учебное пособие. – М.: МИФИ. – 260.

3. Болятко В.В., Ксенофонтов А.И., Харитонов В.В., 2010. Экология ядерной и возобновляемой энергетики. – М.: НИЯУ МИФИ. – 264.

4. Боровский Б., Лапина Е., 2010. Экологические последствия сжигания природного газа и «зеленого» угля в энергетических системах. Lublin: MOTROL. — Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. — Vol. 12D, 95—100.

5. Васильев Ю.С., Хрисанов Н.И., 1991. Экология использования возобновляющихся энергоисточников. – М. Изд-во Ленинградского ун-та.

6. Ветрова Н. М., 2010. Особенности современного состояния проблемы энергоснабжения Крыма . Lublin: MOTROL. — Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. — Vol. 12C, 121—128.

7. Ветрова Н. М., 2010. Устойчивость окружающей природной среды и оценка уровня экологической безопасности региона . Lublin: MOTROL. — Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. — Vol. 12 D, 181—190.

8. Харитонов В.В., 2007. Энергетика. Технико-экономические основы: Учебное пособие. – М.: МИФИ. – 344.

9. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., 2008. Солнечная энергетика. Учебное пособие для ВУЗов, под ред. В.И. Виссарионова. – М.: изд. дом МЭИ. – 260.

10. Використання паливно-енергетичних ресурсів підприємствами (організаціями) АР Крим за 2008 рік – Сімферополь: головне управління статистики в автономній республіці Крим, 2008. – 213.

11. Голованчиков А.Б., Галушак В.С., Лебедева Ю.В., 2007. Экологический мониторинг солнечной электростанции.

Волгоград, Россия: Альтернативная энергетика и экология. АЭЭ. – № 5 (49)

12. ГОСТ 19798-74. Фотоэлементы. Общие технические условия.
13. Кормилицын В.И., 1993. Основы экологии, под ред. Л.А. Рихтера. – М.: изд. дом МЭИ.
14. Коробкин В.И., Передельский Л.В., 2000. Экология. – Ростов н/Д.: изд-во «Феникс». – 576.
15. де Рензо Д. и др., 1982. Ветроэнергетика, под редакцией Д. де Рензо: Пер. с англ.: М.: Энергоатомиздат. – 271.

#### ENVIRONMENTAL CHARACTERISTIC OF SOLAR AND WIND POWER PLANTS

**Summary.** Environmental safety characteristics of solar and wind power plants during the construction and operation are investigated. Issues of a solar cells production and a land allocation for renewable energy sources are discussed.

**Keywords:** environmental Safety, renewable Energy, solar and wind power plants, energy conservation.