

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗВИТИЯ ФОТОЭНЕРГЕТИКИ
В ТУРКМЕНИСТАНЕ****Ахмет Мырадович ПЕНДЖИЕВ**

доктор сельскохозяйственных наук, доцент,
Туркменский государственный архитектурно-строительный институт (ТГАСИ), Ашхабат, Туркменистан,
ampenjieva@rambler.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: отсутствует

История статьи:

Получена 20.12.2017
Получена в доработанном
виде 15.02.2018
Одобрена 12.03.2018
Доступна онлайн 15.05.2018

УДК 336.717;
621.383+621.548+662.63+631.95
JEL: L94, O31, Q42

Ключевые слова:

возобновляемые источники
энергии, экономика,
экология, фотоэнергетика,
кварцевый песок,
Каракумы, Туркменистан

Аннотация

Предмет. В статье рассмотрены перспективы получения поликристаллического кремния из каракумского песка, технико-экономическое и экологическое значения развития фотоэнергетики в Туркменистане.

Цели. Изучение проблем получения кремния из каракумского песка, выявление социально-экологических и экономических преимуществ развития фотоэнергетики и оценка перспектив строительства завода по выпуску солнечных фотоэлектрических модулей в Туркменистане и возможности смягчения антропогенных нагрузок в период изменения климата.

Методология. В процессе исследования были выполнены аналитические расчеты.

Результаты. Оценена землеемкость разных типов энергетических установок и охарактеризованы эмиссии различных электростанций по полному циклу производства электроэнергии. Определены цены на электроэнергию, удельные капитальные вложения в развитие традиционных и нетрадиционных электростанций за рубежом, структура стоимости и объем производства солнечных модулей в мире.

Выводы. В условиях рыночного развития одним из факторов роста производительных сил Туркменистана является внедрение инноваций. Инновационная технологическая схема очистки кремния, основанная на использовании туркменского кварца высокой чистоты, позволит ускорить индустриализацию и обеспечить устойчивое развитие Туркменистана.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2017

Для цитирования: Пенджиев А.М. Техничко-экономические характеристики развития фотоэнергетики в Туркменистане // Региональная экономика: теория и практика. – 2018. – Т. 16, № 5. – С. 856 – 868.
<https://doi.org/10.24891/re.16.5.856>

Введение

Обращаясь к участникам международной научной конференции «Инновационные технологии в использовании возобновляемых источников энергии» 3 декабря 2014 г., Президент Туркменистана Гурбангулы Бердымухамедов сказал: «Туркменистан – государство, обладающее огромными запасами наземных и подземных богатств, углеводородных и горно-минеральных ресурсов, богатое на солнечную энергию и пустынный песок, имеющий в своем составе кремний. Наша главная задача – рациональное использование этих богатств, сохранение их для будущих поколений, производство из

песка Каракумов и экспорт на мировые рынки кремния, являющегося базовым химическим элементом для создания оборудования, позволяющего получать экологически чистую электроэнергию»¹.

Перед учеными поставлена задача рассмотреть проблемы и перспективы развития фотоэнергетики в Туркменистане.

Цель статьи – изучить социально-экологические и экономические преимущества развития фотоэнергетики и перспективы строительства завода по выпуску солнечных элементов в Туркменистане.

¹ Нейтральный Туркменистан. 03.12.2014.

Задача исследования – провести сравнительные расчеты по традиционной энергетике и солнечной, рассмотреть их эколого-экономические, социальные преимущества с целью смягчения антропогенных нагрузок в период изменения климата и реализации международных программ устойчивого развития.

Аналитический обзор охватывает такие вопросы, как получение кремния из Каракумского песка; введение в эксплуатацию завода по производству фотоэлектрических элементов; социально-экологические и экономические приоритеты развития фотоэнергетики в Туркменистане.

Приведены технико-экономические характеристики производства кремниевых солнечных элементов, ожидаемый технико-экономический эффект от введения в строй завода по производству гелиоэнергетических установок. Рассчитаны предварительные экономические и экологические потенциалы сокращения CO₂ от преобразования солнечной энергии в электрическую в течение года с площади 1 м² по областям страны.

Технология производства полупроводникового кремния

Кристаллический кремний занимает доминирующее положение в производстве фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), так как 1 кг кремния без концентрации солнечной радиации может выработать 300 МВт электрической энергии за 30 лет. При переводе 300 МВт на нефтяной эквивалент это будет равно 25 т нефти при теплоте сгорания 43,7 МДж/кг. Если рассмотреть выработку тепловой электростанции с КПД 33%, то в переводе на нефтяной эквивалент 1 кг кремния будет равен 75 т.

Если сравнить с ядерной энергетикой, то 1 т природного урана может произвести 35 ГВт·ч, а 1 т кремния за 30 лет службы с использованием солнечных концентраторов может выработать 92 ГВт·ч электроэнергии. Исходя из этого часто кремний называют «нефтью XXI столетия».

Первостепенной задачей на сегодняшний день является снижение себестоимости кремния от 70 до 20 долл. США за 1 кг. Для решения этой задачи нужно разработать нанотехнологический способ получения производства кремния.

Содержание кремния в земной коре составляет 29,5%, что в 3 раза превосходит запасы алюминия и в 100 тыс. раз превышает содержание урана. Сравнение характеристик материалов приведено в *табл. 1*.

Мировые запасы урана оцениваются в 2 763 тыс. т. Производство уранового топлива включает в себя производство гексафторида урана. Это очень сложный и опасный цикл, если сопоставить производство полупроводникового кремния с хлорсилановым методом. Так как в земной коре уран содержится в меньшей концентрации и находится в рассеянном состоянии, в отличие от кремния, эти материалы имеют практически одинаковую стоимость. Это можно объяснить только тем, что на развитие топливного уранового производства в мировом масштабе были инвестированы миллиарды долларов. Эти финансовые средства поступали, в основном, на военные программы по разработке атомного оружия. Мировой объем производства урана в разы превышает производство полупроводникового кремния. Сравнительные характеристики урана, кремния и материалов, используемых на атомных и солнечных энергетических станциях, приведены в *табл. 2*.

Цикл производства полупроводникового кремния хлорсилановым методом за 40 лет почти не изменился и имеет те же недостатки, что и в середине XX в., то есть в период внедрения в производство. Главным химическим недостатком остается экологическая опасность для окружающей среды. В *табл. 3* приведены сравнительные технологические характеристики химического и физического процессов очистки, получения кремниевых фотопреобразователей, предназначенных для использования в гелиоэнергетике.

Основное сырье для производства «солнечного» кремния – это кварцевый песок, в составе которого имеется оксид кремния в виде 12% массы литосферы. На сегодняшний день одними из самых чистых в мире являются российские кварциты. Их запасы могут обеспечить сырьем фотоэлектрические станции с электрической мощностью более 1 000 ГВт. Каракумский кварцевый песок в своем составе содержит 63–93% кремния.

Высокая энергоемкость при химическом способе очистки обусловлена высокими энергетическими затратами (64 кДж/моль) и низкой производительностью выхода кремния (от 6 до 10%). На сегодняшний день три инновационных технологии ждут доработки и коммерческого внедрения в производство [1–4]².

Преимущества технологии производства солнечных элементов, разработанной в ФНУ ВИЭСХ под руководством академика Д.С. Стребкова, следующие:

- при изготовлении сетки не используется серебро;
- нет ограничений на удельное сопротивление и кристаллографическую ориентацию пластины;
- формирование N⁺-P-P⁺ структуры производится за одну операцию;
- наличие просветляющего покрытия из пятиоксида тантала;
- отсутствие вакуумных процессов;
- низкий расход энергии.

Российский технологический и производственный потенциал позволяет производить ежегодно СЭ и солнечные модули (СМ) общей мощностью до 10 МВт. При условии специализации некоторых предприятий на выпуске СЭ их производство могло бы возрасти в 2000 г. до 200 МВт, а в 2015 г. – превысить 2 000 МВт.

² Арбузов Ю.Д., Евдокимов В.М. Основы фотоэлектричества. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. 292 с.

Для реального развития фотоэнергетики необходима действенная государственная программа поддержки и финансирования соответствующей сферы энергетики, в частности, технологии производства кремния высокого качества. В Туркменистане в настоящее время совместно с японскими учеными ведутся работы по получению кремния из Каракумского песка.

Солнечные электростанции на основе ФЭП обладают целым рядом преимуществ по сравнению с обычными электростанциями, работающими на ископаемом топливе:

- полная безопасность эксплуатации с экологической точки зрения, отсутствие выбросов и шума, совместимость с сельскохозяйственным производством и домашним хозяйством;
- практически полная заводская сборка позволяет выполнять конструирование одновременно с работами на электрических подстанциях;
- КПД станции не зависит от вырабатываемой мощности, что позволяет заказчику собирать модули в батареи и добавлять целые модули в несколько мегаватт в течение 3–6 мес. после их изготовления;
- высокий уровень автоматизации позволяет задействовать бригаду монтажников, численность которой не превышает численности персонала электрической подстанции.

Солнечные электростанции могут помочь в решении как локальных, так и глобальных энергетических проблем. При КПД 12% потребность Туркменистана в электроэнергии может быть полностью покрыта за счет солнечных электростанций.

Учитывая высокую экологичность возобновляемых источников энергии, можно утверждать, что огромный научно-исследовательский опыт ученых в области развития солнечной энергетики и разработанные технологии изготовления

фотоэлектрических преобразователей становятся преимуществом в стратегическом развитии мировой фотоэнергетики.

Маркетинг фотоэнергетики

Спрос на рынке солнечных элементов сегодня очень велик и составляет более 70 МВт/год при ежегодном росте на 10–20%. С применением СЭ сегодня можно будет экономически оправдать электрификацию сельских поселений в пустыне Каракумы.

Анализ показывает, что при стоимости 2 долл. США за 1 Вт потребность в солнечных фотопреобразователях составит 100 ГВт на млрд человек, а на одного человека потребуется 100 Вт. Эта предполагаемая мощность покроет потребность населенных пунктов многих стран, отдаленных от сельскохозяйственных районов, что будет выгодным даже для такой энергетически мощной страны, как Россия (например, при электропитании телевизора, небольшого холодильника и водяного насоса).

За 20 лет выработка электроэнергии солнечными фотоэлектрическими преобразователями составит примерно 5 ГВт при себестоимости 1 долл. США за 1 Вт, и можно будет дополнительно подключаться к централизованной сети. Если принять, что солнечные преобразователи вырабатывают 10% от общего объема энергии, то рынок солнечной электроэнергии составит 50 ГВт·ч в год. Конечно, это очень сложная технологическая проблема, требующая решения ряда научно-технических, экономических и экологических задач [5, 6].

Количественных ограничений в использовании солнечной энергии в техническом отношении не существует; проблемы связаны с решением научных, технологических и экономических вопросов.

Инновационная технология производства кремния, основанная на использовании туркменского кварца высокой чистоты

Каракумский кварцевый песок на территории Туркменистана располагает несколькими месторождениями кварца высокой чистоты и

графита с различным содержанием бора и фосфора. Эти материалы нуждаются в высокой химической очистке.

При производстве кремния из природного каракумского песка в дуговых печах с помощью углерода можно получить сажу. При этом реакционная камера должна обеспечивать высокую экологичность производства и снизить потребление электроэнергии на единицу массы продукции в 10 раз. При соблюдении таких автоматизированных условий снизятся трудозатраты и повысится выход кремния до 80%, и поэтому снизится себестоимость кремния до 25 долл. США за 1 кг. На сегодняшний день имеются высокотехнологичное оборудование и полученные образцы солнечного кремния.

Запуск таких технологий, позволяющих производить 40 т кремния в год, потребует капитальных вложений примерно в объеме 3 млн долл. США. Для получения изделия необходимы следующие сопутствующие продукты производства:

- сырье слитков из кремния с чистотой в 99,999%;
- поликристаллические слитки кремния с солнечным качеством р-типа и удельным сопротивлением от 0,2 до 0,4 Ом;
- диоксид кремния высокой чистоты для оптических приборов – оптическое стекло и волокно;
- углерод сажи или гранулы с чистотой в 99,99%, используемые для производства полиграфической краски и промышленной резины.

Основные преимущества изученной технологии:

- снижение себестоимости солнечного кремния в два-три раза по сравнению с обычным производством;
- в несколько раз понижается потребление электроэнергии;
- использование патентно-чистых технологий;

– технологические процессы экологичны и безопасны.

Технико-экономические характеристики кремниевых солнечных элементов в Туркменистане

Годовой приход суммарной солнечной энергии на территорию Туркменистана составляет 6 400 МДж/м², или 1 777,92 кВт·ч/м² в год. Продолжительность солнечного сияния составляет 3 000 часов в год. Определен валовый потенциал солнечной энергии. Средний годовой приход суммарной солнечной энергии на территорию Туркменистана составляет $3123 \cdot 10^{12}$ МДж или $867,57 \cdot 10^{12}$ кВт·ч.

Если учесть количество солнечной энергии, поступающей на территорию Туркменистана, то можно получить огромное сокращение выбросов углекислого газа.

Из всей солнечной энергии, поступающей на поверхность площади страны, солнечные фотопреобразователи лишь часть ее преобразуют в электрическую в зависимости от КПД. КПД солнечных элементов за последние 20 лет вырос с 7 до 15%. В США и других странах, где активно развивается фотоэлектрическое направление, поставлена задача довести КПД к 2030 г. в среднем до 20%.

Экологический эффект от сокращения выбросов CO₂ вследствие преобразования солнечной энергии в электрическую с м² по месяцам года и по областям (велятам) страны отражен на *рис. 1*.

Имеющиеся экоэнергетические ресурсы и социально-экологические характеристики позволяют создать производственную базу по выпуску солнечных электростанций и модулей для развития солнечной фотоэнергетики в Туркменистане.

Президент Туркменистана Гурбангулы Бердымухамедов 17 февраля 2017 г. на торжественной церемонии инаугурации в своей программной речи сказал, что с целью рационального использования нетрадиционных видов энергии (энергии

солнца и ветра) будет оказана большая поддержка развитию этих направлений. Оценен масштаб проблем, связанных с производством кремния из каракумского песка и использованием его в солнечной фотоэнергетике.

Решение проблемы получения из каракумского песка кремния и строительство завода по производству поликристаллического кремния даст возможность не только производить и выгодно реализовать на мировом рынке пользующийся огромным спросом кремний, но и создать новые рабочие места. Откроются огромные перспективы по производству в Туркменистане готовой продукции: солнечных элементов, солнечных модулей, солнечных энергетических станций и установок³.

В Туркменистане, где 80% площади занимает пустыня Каракумы, проживает большое количество людей: это нефтяники, газовики, геологи, животноводы, строители и железнодорожники. Каракумы сегодня меняют свою инфраструктуру – реализуется проект «Туркменское озеро», строятся новые автомагистрали, железные дороги, появляются новые населенные пункты. Солнечные фотоэлектрические станции позволят удовлетворить растущие потребности в электроэнергии в отдаленных от центральной энергосистемы районах Туркменистана, будут способствовать развитию производительных сил в Каракумах, решать локальные проблемы энергообеспечения, водоснабжения, улучшения социально-экономических, экологических и бытовых условий жизни населения.

В проектной программе необходимо предусмотреть строительство и ввод в действие двух заводов по производству солнечных батарей в Туркменистане, предварительно общей стоимостью оборудования 8 380,8 тыс. долл. США, с годовым объемом выпуска продукции на сумму 14 млн долл. США. Предполагаемая производительность за год равна 2 МВт. Технология производства должна также

³ Пенджиев А.М. Экологические проблемы освоения пустынь. М.: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 232 с.

предусматривать выпуск стационарных солнечных концентраторов. В комплект оборудования входят:

- линии по изготовлению двусторонних солнечных элементов минимальной комплектации;
- линии по изготовлению двусторонних солнечных модулей минимальной комплектации;
- линии по изготовлению солнечных стационарных концентраторов минимальной комплектации.

Производительность солнечных элементов в год в одну смену составит $360\,000 \cdot 2$ Вт, солнечных модулей соответственно – $10\,000 \cdot 75$ Вт, стационарных концентраторов соответственно – $2\,700 \cdot 300$ Вт.

Численность персонала составит 116 человек: из них инженерно-технические работники – 20 человек, рабочие – 96 человек. Обучение и подготовка производственного персонала входят в общую стоимость. Подробное описание поставляемого оборудования для одного завода с указанием цен представлено в опубликованных научных статьях.

Внедрение завода по производству фотопреобразователей позволит ежегодно (начиная с 2020 г.) оснащать солнечными водоподъемными установками 1 667 колодцев из 5 200 существующих на отгонных пастбищах в Каракумах, тем самым удовлетворяя потребность в электроэнергии на 32%. К 2025 г. потребность в солнечных фотоэлектрических водоподъемных установках будет полностью удовлетворена.

Выпуск 35 фотоэлектрических модулей каждый год с мощностью 10 кВт (табл. 4) к 2020 г. удовлетворит потребность отгонного пастбищного хозяйства в электроснабжении на 3%, а к 2030 г. – на 30%. Если перевести на питание солнечными фотобатареями мобильные телефоны, радиоприемники мощностью 2 Вт, то это превысит среднегодовой импорт товара в страну. Если перевести на питание солнечными фотобатареями радиоаппаратуру мощностью

40 Вт, то это составит 21% среднегодового поступления товаров в Туркменистан. Если перевести 30% станций на катодную защиту газовых трубопроводов и других подземных сооружений и если перевести речное, морское навигационное оборудование на питание солнечными фотопреобразователями, то это полностью удовлетворит потребность страны в электроэнергии.

Предварительный экономический и экологический эффект, обусловленный введением в строй завода по производству солнечных фотоэлектрических фотопреобразователей в Туркменистане, составит:

- от внедрения солнечных водоподъемных комплексов для подъема воды из колодцев, отгонных пастбищ страны 0,3 млн долл. США в год, причем экономия углеродного топлива составит 184,5 т у.т. в год и снизит антропогенную нагрузку CO_2 на 295,1 т в год;
- от внедрения солнечных электростанций мощностью 10 кВт для энергоснабжения населенных пунктов отгонных пастбищ 1,3 млн долл. США в год, а экономия углеродного топлива составит 129,2 т у.т. в год и снизит антропогенную нагрузку CO_2 на 206,6 т в год;
- от перевода зарядных устройств мобильных телефонов, транзисторной радиоаппаратуры мощностью до 2 Вт на питание от солнечных батарей 0,12 млн долл. США в год при экономии углеродного топлива 73,8 т у.т. в год и снижении антропогенной нагрузки CO_2 на 117,9 т в год;
- от перевода транзисторной радиоаппаратуры мощностью до 40 Вт на питание от солнечных батарей 0,03 млн долл. США в год при экономии углеродного топлива 18,5 т у.т. в год и снижении антропогенной нагрузки CO_2 на 29,6 т в год;
- от перевода станций катодной защиты подземных сооружений на питание от солнечных электростанций 0,3 млн долл. США в год; экономия углеродного топлива

составит 184,5 т у.т. в год, а антропогенная нагрузка CO₂ снизится на 295, 1 т в год;

- от перевода речного и морского навигационного оборудования на питание от солнечных электростанций 0,24 млн долл. США в год, экономия углеродного топлива составит 140,6 т у.т. в год, а антропогенная нагрузка CO₂ снизится на 224,6 т в год.

Таким образом, суммарный экономический и экологический эффект от использования продукции завода по производству солнечных фотоэлектрических преобразователей составит: экономия углеродного топлива – 731,1 т у.т., сокращение антропогенной нагрузки CO₂ на окружающую среду – 1 168,9 т в год.

Экологический эффект от сокращения выбросов, обусловленного внедрением продукции кремневого завода по производству солнечных фотоэнергетических установок в народное хозяйство Туркменистана в 2020 г., отражен в *табл. 5*.

Использование солнечных электростанций и солнечных фотобатарей позволит расширить ассортимент продукции. Солнечные мобильные фотоэлектростанции и модули могут быть использованы для электропитания:

- солнечных электролизно-водных установок СЭСУ-120 с потребляемой мощностью 0,5 кВт, производительностью 120 л водородокислородной смеси в час;
- электродиализных опреснительных установок с потребляемой мощностью 0,5 кВт, производительностью 1 т пресной воды за сутки, которые могут быть использованы для опреснения минерализованных вод колодцев отгонных пастбищ;
- электрических изгородей для овец и освещения кошар;

– сельскохозяйственных машин и механизмов: электростригального агрегата ЭСА-12Г с потребляемой мощностью 4 кВт; транспортера шерсти с мощностью 1,7 кВт, стоимостью 369 долл. США; чаеочистительной машины ЧП-300 мощностью 3,2 кВт, электромагнитной семяочистительной машины мощностью 3,1 кВт; электрических мотыг ЭМ-12, предназначенных для обработки междурядий в теплицах, парниках, на участках с утепленным грунтом и приусадебных участках, мощностью 0,27 кВт;

- механизмов животноводческих ферм и машин: грубых кормораздатчиков мощностью 1,7 кВт, грузоподъемностью 250 кг, производительностью при скирдовании сена 6,5 т/ч, соломы – 2,8 т/ч; раздатчиков кормов РКУ-200, РКС-3000М потребляемой мощностью 3 кВт, обслуживающего до 1 200 голов скота; других сельскохозяйственных машин и механизмов.

Необходимо учитывать экологическую сторону вопроса получения кремния из песка, изготовления солнечных элементов, но тем не менее при получении кремния и строительстве завода следует использовать автоматизированные инновационные образцы, соответствующие мировым стандартам по экологическим параметрам.

Закключение

Один из факторов роста производительных сил Туркменистана – это ускорение перевода экономики на интенсивный путь развития путем внедрения инноваций и индустриализации структуры топливно-энергетического комплекса. Инновационная технология получения высокоочищенного кремния из туркменского кварца даст новый импульс устойчивому развитию Туркменистана.

Таблица 1**Материалы для солнечных энергетических систем****Table 1****Materials for solar energy systems**

Материал	Массовое содержание в земной коре, %	Мировое производство, млн т/год	Цена, долл. США/кг
Кислород	47	—	—
Металлургический кремний	29,5	0,72	1,3
Полупроводниковый кремний	—	0,007	40–100
Алюминий	8,8	20	1,3
Железо (сталь)	4,65	480	0,25–0,3
Титан	...	0,63	0,25 4,85
Никель	0,01	9	7,3
Медь	0,0047	0,7	1,3–2
Свинец	0,0016	7	0,3–0,5
Олово	0,00025	0,18	5,8–6
Кварц	12	—	0,2–2

Источник: авторская разработка*Source:* Authoring**Таблица 2****Сравнение урана и кремния как материалов для атомных и солнечных энергетических станций****Table 2****Comparison of uranium and silicon as materials for nuclear and solar power stations**

Характеристика	Уран	Кремний
Содержание в земной коре, %	0,0003	29,5
Мировые запасы, тыс. т	2 763	> 25 млн т
Годовое производство:		
– металлургический, тыс. т	45	1 000
– приборный, тыс. т		7
Цена за 1 кг, металлургический, долл. США	40–60	2
Цена за 1 кг, приборный, долл. США		40–100
Энергетическая производительность за 30 лет:		
– аморфный пленочный, МВт·ч/кг,	3 000	3 000
– кристаллический, МВт·ч/кг		300
Срок службы энергетических станций, лет	30	50–100

Источник: авторская разработка*Source:* Authoring

Таблица 3**Сравнение характеристик технологии получения кремния для солнечной энергетики****Table 3****Comparison of silicon production technology characteristics for solar energy**

Характеристика	Традиционная технология	Инновационная технология
Процесс очистки	Химический	Физический
Энергопотребление, кВт·ч/кг	250	15–30
Выход кремния, %	6–10	80–95
Стоимость кремния, долл. США/кг	40–100	5–15
Экологическая характеристика	Опасная	Чистая

Источник: авторская разработка*Source:* Authoring**Таблица 4****Ожидаемый экономический эффект от использования продукции завода по производству солнечных энергетических установок в народном хозяйстве Туркменистана в 2020 г.****Table 4****Expected economic effect from the use of the products of the solar power facilities plant in the national economy of Turkmenistan in 2020**

Наименование продукции	Количество, шт.	Экономия органического топлива от внедрения продукции, т у.т.		Ожидаемый экономический эффект от использования продукции	
		На единицу изделия, 10 ⁻⁴	На общее количество изделий в год	На единицу изделия, долл. США	На общее количество произведенных изделий в год, тыс. долл. США
Батареи солнечные 2 Вт	100 000	7,38	73,8	1,2	120
Модули солнечные 40 Вт	1 250	147,6	18,5	24	30
СФЭУ 300 Вт	1 667	1 107	184,5	180	300,06
СФЭУ 1 000 Вт	500	3 690	184,5	600	300
СФЭУ 2 500 Вт	160	9 225	147,6	1 500	240
СФЭУ 10 кВт для станций большой мощности	35	36 900	129,2	6 000	210
Итого...			738,1		1 200,06

Источник: авторская разработка*Source:* Authoring

Таблица 5

Ожидаемый экологический эффект от использования продукции завода по производству солнечных энергетических установок в народном хозяйстве Туркменистана в 2020 г.

Table 5

Expected environmental effect from the use of the products of the solar power facilities plant in the national economy of Turkmenistan in 2020

Наименование солнечных фотоэлектрических установок и оборудования	Экономия органического топлива т у.т.	Экологические ресурсы					
		SO ₂ (т/год)	NO _x (т/год)	CO (т/год)	CH ₄ (т/год)	CO ₂ (т/год)	Твердые вещества (т/год)
Транзисторная радиоаппаратура мощностью до 40 Вт	18,5	0,384	0,207	0,026	0,0564	29,578	0,0403
Зарядные устройства мобильных телефонов, транзисторной радиоаппаратуры мощностью до 2 Вт	73,8	1,5339	0,8259	0,1072	0,2252	117,99	0,1609
Модули солнечных электростанций мощностью 10 000 Вт	129,2	2,6854	1,4459	0,1877	0,394	206,56	0,2816
Речное и морское навигационное оборудование	140,6	2,9223	1,5735	0,204	0,4291	224,79	0,3065
Станции катодной защиты подземных сооружений	184,5	3,83481	2,0648	0,26816	0,56315	294,985	0,4022
Итого...	731,1	15,19	8,182	1,062	2,231	1168,9	1,5939

Источник: авторская разработка

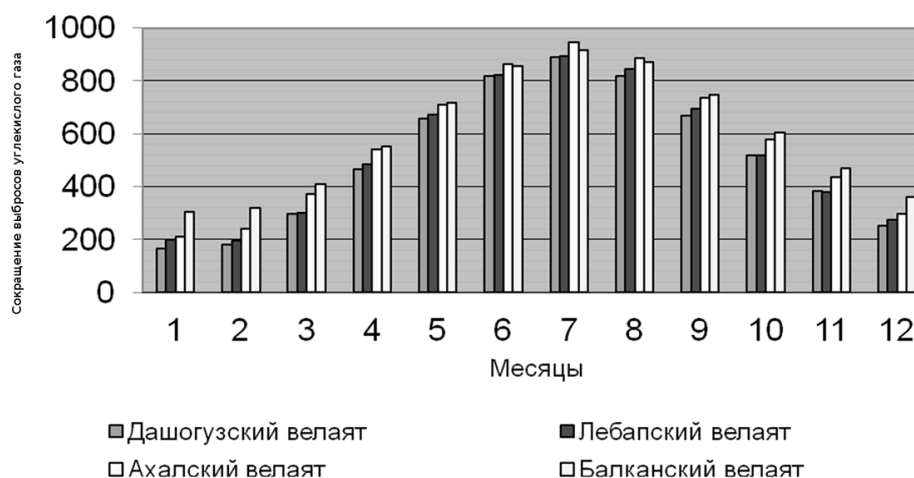
Source: Authoring

Рисунок 1

Гистограмма экологического потенциала сокращения выбросов CO₂ по областям страны в течение года с м² от преобразования солнечной энергии в электрическую, т

Figure 1

The environmental potential of reducing CO₂ emissions by region of the country during the year from one square meter from the conversion of solar energy to electrical, tonne: A histogram



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Бердымухамедов Г.М. Государственное регулирование социально-экономического развития Туркменистана. Том 1. Ашхабад: Туркменская государственная издательская служба, 2010. 389 с.
2. Капица С.П. Энергетика и экономика человечества // *Альтернативная энергетика и экология*. 2009. № 9. С. 10–12.
3. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высшая школа, 2002. 248 с.
4. Стребков Д.С., Пенджиев А.М., Мамедсахатов Б.Д. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане: монография. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012. 498 с.
5. Смирнов Б.М. Атмосфера Земли и энергетика. М.: Знание, 1979. 89 с.
6. Безруких П.П., Арбузов Ю.Д., Борисов Г.А. и др. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России: монография. СПб.: Наука, 2002. 314 с.

Информация о конфликте интересов

Я, автор данной статьи, со всей ответственностью заявляю о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

THE PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAIC ENERGETICS DEVELOPMENT IN TURKMENISTAN

Akhmet M. PENDZHIEV

Turkmen State Institute of Architecture and Construction, Ashgabat, Turkmenistan
ampenjie@rambler.ru
ORCID: not available

Article history:

Received 20 December 2017
Received in revised form
15 February 2018
Accepted 12 March 2018
Available online
15 May 2018

JEL classification: L94, O31,
Q42

Keywords: renewable energy
sources, photovoltaic
energetics, quartz sand,
ecology, Karakum Desert,
Turkmenistan

Abstract

Importance This article discusses the prospects of obtaining polycrystalline silicon from Karakum sand and considers the technical-economic and ecological importance of the development of photoenergetics in Turkmenistan.

Objectives The article aims to study the problems of obtaining silicon from Karakum sand, reveal the socio-ecological and economic advantages of the development of photoenergetics and assess the prospects of construction of a solar photovoltaic modules production plant in Turkmenistan.

Methods For the study, I performed certain analytical calculations.

Results The article presents certain calculations on performance of various power units, energy prices, investment volumes, cost and economic capacity of solar modules manufacture.

Conclusions Under market development, one of the factors of growth of productive forces of Turkmenistan is a shift of economy to an intensive way of development through introduction of innovation. The innovative manufacturing scheme of silicon purification, based on the use of high-purity Turkmen quartz, will accelerate industrialization and ensure a sustainable development of Turkmenistan.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2017

Please cite this article as: Pendzhiev A.M. The Performance of Photovoltaic Energetics Development in Turkmenistan. *Regional Economics: Theory and Practice*, 2018, vol. 16, iss. 5, pp. 856–868.
<https://doi.org/10.24891/re.16.5.856>

References

1. Berdymukhamedov G.M. *Gosudarstvennoe regulirovanie sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Turkmenistana. Tom 1* [State regulation of social and economic development of Turkmenistan. Volume 1]. Ashgabat, Turkmenskaya gosudarstvennaya izdatel'skaya sluzhba Publ., 2010, 389 p.
2. Kapitsa S.P. [Energy and economy of mankind]. *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal Al'ternativnaya energetika i ekologiya = International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology*, 2009, no. 9, pp. 10–12. (In Russ.)
3. Orlov D.S., Sadovnikova L.K., Lozanovskaya I.N. *Ekologiya i okhrana biosfery pri khimicheskoy zagryaznenii* [Ecology and protection of the biosphere in chemical pollution]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2002, 248 p.
4. Strebkov D.S., Pendzhiev A.M., Mamedsakhmatov B.D. *Razvitie solnechnoy energetiki v Turkmenistane: monografiya* [Development of solar energy in Turkmenistan: a monograph]. Moscow, GNU VIESKh Publ., 2012, 498 p.
5. Smirnov B.M. *Atmosfera Zemli i energetika* [Earth's atmosphere and energy]. Moscow, Znanie Publ., 1979, 89 p.

6. Bezrukikh P.P., Arbuzov Yu.D., Borisov G.A. et al. *Resursy i effektivnost' ispol'zovaniya obnovlyemykh istochnikov energii v Rossii: monografiya* [Resources and efficiency of use of renewable energy sources in Russia: a monograph]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2002, 314 p.

Conflict-of-interest notification

I, the author of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.