

## ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630.587:621.311

И. И. Тюхов

### ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО БУДУЩЕГО

*Рассматриваются вопросы устойчивого развития энергетики на базе возобновляемых источников энергии. Показана необходимость перехода к новым технологиям возобновляемой энергетики. Обсуждаются примеры конкретных технологий: использования биомассы и комбинированного преобразования солнечной энергии для одновременной генерации электрической энергии и тепла.*

**Ключевые слова:** возобновляемая энергетика, биомасса, солнечные коллекторы.

**Введение.** Проблемы развития возобновляемой энергетики (ВЭ) и совершенствования работы лесного хозяйства во многом аналогичны. В условиях, когда масштабы антропогенного воздействия на окружающую среду достигли таких размеров, что под угрозу поставлена жизнь на планете, охрана окружающей среды и рациональное природопользование выходят на передний план. Устойчивое развитие ВЭ и лесного хозяйства являются важнейшими национальными и межгосударственными задачами, успешное решение которых неразрывно связано с обеспечением высокого уровня профессиональной подготовки специалистов в данной области.

Новый этап природопользования требует новых методов применения высоких технологий, современной высокоавтоматизированной и экологичной техники, организационных схем и ресурсосберегающих технологий и использование возобновляемых ресурсов.

**Цель работы** – рассмотреть возможные пути устойчивого развития энергетики, переход на возобновляемые ресурсы, анализ и разработка конкретных технологий.

**Необходимость к переходу на устойчивые технологии.** Традиционная энергетика, включая атомную, базируется на ископаемых источниках энергии. К сожалению, многими экономистами игнорируется тот факт, что нефть является не возобновляемым ресурсом. Инвесторам уже сейчас становится понятно, что без значительного сокращения объемов потребления нефти в ближайшие годы (называют сроки в 5–10 лет) мировой уровень добычи достигнет своего максимума.

К чрезвычайно важному заключению – достижению абсолютного максимума потребления, впервые пришел М. Кинг Хабберт (Dr. M. King Hubbert), геолог, который спрогнозировал величину объемов нефтедобычи, используя исторические данные и оценки доказанных запасов. Еще в 1956 году, основываясь на геологических изысканиях, Хабберт показал, что уровень добычи в США достигнет своего максимума в 1970 году [1]. Фактически ему удалось предсказать первый энергетический кризис (Хабберт ошибся лишь на 4 года – в 1974 г. появились признаки снижения добычи нефти и последующий рост цен). Более того, он спрогнозировал, что мировой уровень объемов нефтедобычи достигнет максимума примерно к 2000 году (рис. 1). Разумное использование ископаемых ресурсов подразумевает, что при фиксированной структуре производства и потребления ресурсная рента направляется не в финансовый фонд, а на развитие технологий, использующих возобновляемые ресурсы, и, тем самым, замещающих в производстве исчезающий ресурс [2]. Переход к возобновляемой энергетике переводит энергетику в

класс возобновляемых ресурсов. Такой подход давно используется в лесном хозяйстве, где определенная часть доходов от ведения лесного хозяйства расходуется на поддержку лесопитомников.

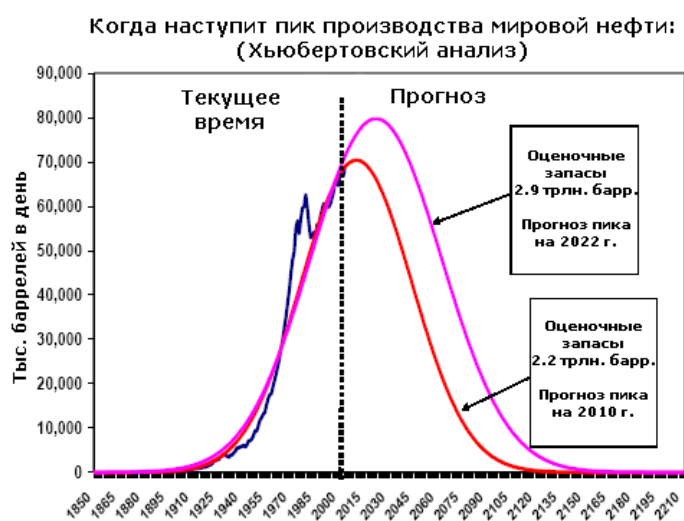


Рис. 1. Прогноз Хабберта по мировым данным

шие значения целевых показателей объема производства и потребления электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии (кроме гидроэлектростанций установленной мощностью более 25 МВт): в 2010 году – 1,5 %; в 2015 году – 2,5 %; в 2020 году – 4,5 %.

**Выбор перспективных технологий ВЭ.** Основными технологиями ВЭ для России могут стать комбинированные системы, работающие на различных первичных источниках: энергии биомассы, солнца, ветра и энергии малых водотоков. Особенно много новых подходов разрабатывается в использовании энергии биомассы и солнца. Рассмотрим некоторые примеры использования этих ресурсов.

Большое значение для автономного энергоснабжения имеет технология переработки биомассы, растительных и древесных отходов, торфа в жидкое топливо и газ посредством быстрого пиролиза. По данным академика РАСХН Стребкова Д. С., в России самые большие лесные ресурсы (21% мировых лесных площадей) и около 30 млн. га необрабатываемых земельных угодий, которые можно использовать под посадки быстрорастущей растительной массы, и с этих площадей получать при переработке 150–200 млн. тонн жидкого топлива.

Энергетические установки, использующие биомассу, могут дать столько же энергии, сколько все атомные электростанции России, и они имеют почти нулевые выбросы диоксида углерода и серы, т.е. являются экологически чистыми. Получение и использование этого биодизельного топлива на селе позволит пополнить энергобаланс сельских предприятий и регионов и в значительной мере снизить зависимость от централизованных закупок ископаемого топлива и электроэнергии [3]. Пример установки, разработанной в ВИЭСХ приводится на рис.2. Высокими темпами во всем мире развиваются солнечно-энергетические технологии. Согласно прогнозам, к 2020 году около 50 000 МВт (50 ГВт) фотоэлектрических систем будет устанавливаться ежегодно, т.е. в двадцать раз больше по сравнению с установленной мощностью 2538 МВт в 2007 году. К 2010 году около 400 производственных линий в мире, производящих, по меньшей мере, 1 МВт солнечных элементов в год, будет установлено вместо примерно ста линий в 2007 году, т.е. примерно в четыре раза больше, чем сейчас (<http://www.nanowerk.com/news/newsid=8294.php>).

Несмотря на зрелость и высокое совершенство фотоэлектрических технологий «в чистом виде», т.е. только технологий генерации электричества, а также фантастические темпы роста фотоэлектрической промышленности – около 30–40% в год, продолжается поиск новых технических решений, связанных с фотоэлектрическим преобразованием солнечной энергии.

Так, использование древесных отходов для получения топлива придает лесозаготовительному производству безотходный характер и повышает эффективность мер по охране природы. Вовлечение в топливный баланс лесопромышленных предприятий древесных отходов — эффективное мероприятие по сбережению для будущих поколений горючих ископаемых.

В январе 2009 года правительство РФ приняло программу развития альтернативной энергетики, которая предполагает увеличение ее доли в энергобалансе страны. Согласно распоряжению, на период до 2020 года устанавливаются следующие значения целевых показателей объема производства и потребления электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии (кроме гидроэлектростанций установленной мощностью более 25 МВт): в 2010 году – 1,5 %; в 2015 году – 2,5 %; в 2020 году – 4,5 %.



Рис. 2. Общий вид установки для получения жидкого и газообразного топлива (слева), производительность 0,5 т/сутки и дизель-генератор (справа) электрической мощностью 20 кВт



Рис. 3. Дом лесника со встроенными на крыше фотоэлектрическими модулями (США)

Фотоэлектрическое преобразование (ФЭ) солнечной энергии в электрическую существует около полувека, причем сначала были разработаны технологии для космических применений, а затем удалось существенно снизить стоимость фотоэлектрических технологий до приемлемых уровней для использования в наземных установках. В качестве примера использования такой энергии на рис. 3 показан дом лесника (США). Такие фотоэлектрические модули обеспечили около 7900 кВт час электроэнергии за 2005 г.

Рынок солнечных тепловых систем также развивается поразительными темпами. Только европейский рынок солнечных тепловых систем вырос в 2006 г. на 47%, превысив все ожидания и достигнув установленной мощности 2,1 ГВт тепловой мощности (3 миллиона квадратных метров солнечных коллекторов). Солнечные коллекторы могут применяться практически во всех процессах, использующих тепло. Коллекторы могут быть жидкостного или воздушного типа в зависимости от вида циркулирующего через них теплоносителя.

Тепловое преобразование (Т) солнечной энергии известно и используется человеком с давних времен, хотя научные методы использования солнечной энергии стали разрабатываться относи-

тельно недавно. В 1741 году М. В. Ломоносов предложил многолинзовую солнечную печь (катоприко-диоптрический зажигательный инструмент), а французский физик Пулье в 1837 году создал прибор для определения энергии приходящего солнечного излучения.

Новый подход связан с комбинированным преобразованием солнечной энергии. Фотоэлектрическое и тепловое преобразование солнечной энергии (ФЭТ) осуществляется в единой интегрированной системе, в которой одновременно используются и фотоэлектрическая генерация электричества, и получение тепла от солнечной энергии. Разработанная в течение последних нескольких десятилетий теория фотоэлектрического эффекта в полупроводниках с р-п-переходом позволяет в первом приближении описать характеристики солнечных элементов (СЭ), объяснить реально получаемые значения КПД и указать пути их повышения.

В классической теории вольтамперная характеристика (ВАХ) СЭ, то есть зависимость напряжения  $U$  на выводах от тока  $J$  в цепи, описывается выражением:

$$U = \frac{AkT}{q} \cdot \ln \left[ \frac{J_{\phi} - J}{J_0} + 1 \right] - J \cdot R \quad (1)$$

где  $J$  – плотность выходного тока фотопреобразователя,  $A/cm^2$ ;

$J_{\phi}$  – плотность фототока, пропорциональная интенсивности солнечного излучения, падающего на поверхность фотопреобразователя,  $A/cm^2$ ;

$J_0$  – плотность обратного тока насыщения, определяемая свойствами исходного полупроводника и технологией изготовления фотопреобразователя,  $A/cm^2$ ;

R – внутреннее электрическое сопротивление, препятствующее протеканию тока в структуре фотопреобразователя и через омические контакты, Ом;

A – параметр кривизны ВАХ, о.е. Безразмерный параметр кривизны ВАХ A определяется свойствами р-п-перехода и обычно имеет значения от 1 (для идеального р-п-перехода) до 3;

k – постоянная Больцмана,  $k=1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К ;

T – рабочая температура фотопреобразователя, К;

Q – заряд электрона,  $q = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Выражение для ВАХ (1) зависит от температуры не только явно, но и через величины  $J_\phi$  и  $J_o$ . Максимальная мощность СЭ определяется по параметрам ВАХ следующим образом:

$$P_{el} = U_{xx} \cdot J_\phi \cdot \zeta \tag{2}$$

где  $U_{xx}$  – напряжение холостого хода, В;

$\zeta$  – коэффициент заполнения вольтамперной характеристики.

Напряжение холостого хода СЭ также является функцией от температуры и определяется следующим образом:

$$U_{xx} = \frac{AkT}{q} \cdot \ln\left(\frac{J_\phi}{J_o} + 1\right) \tag{3}$$

При малых концентрациях солнечного излучения можно считать, что величина  $U_{xx}$  изменяется практически линейно с увеличением температуры.

$$\zeta = 1 - \frac{\left[ \ln\left(\frac{qU_{xx}}{AkT} + 1\right) \right]}{\frac{qU_{xx}}{AkT}} \tag{4}$$

Изменение формы ВАХ при повышении температуры СЭ видно на рис. 4.

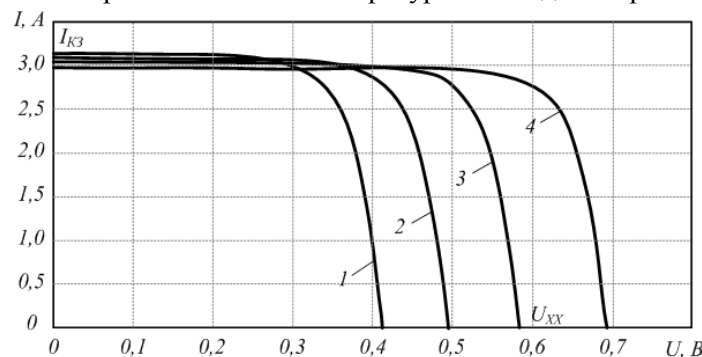


Рис. 4. Влияние рабочей температуры СЭ на форму вольтамперной характеристики (1 – ВАХ при температуре 75 °C, 2 – при 50 °C, 3 – при 25 °C, 4 – при 0 °C)

Коэффициент полезного действия СЭ определяется как отношение максимальной электрической мощности, снимаемой с единицы площади СЭ, к интенсивности падающего солнечного излучения  $E_c$ :

$$\eta = \frac{P_{el}}{E_c} \tag{5}$$

С учетом выражений (2, 3, 5) выражение для КПД можно записать следующим образом:

$$\eta = \frac{U_{xx} \cdot J_\phi \cdot \zeta}{E_c} = \frac{AkT}{q} \cdot \frac{J_\phi}{E_c} \cdot \zeta \cdot \ln\left(\frac{J_\phi}{J_o}\right) \tag{6}$$

Из выражений следует, что величина  $\eta$  падает с ростом температуры СЭ приблизительно на 0,3% на градус. Тем самым, охлаждая СЭ, можно повысить КПД фотоэлектрического преобразования, но более существенный эффект можно получить, если использовать отводимое от СЭ тепло. Для типичных значений КПД СЭ составляет около 15%, остальная (большая) часть

солнечной энергии превращается в тепло. В единой интегрированной ФЭТ системе может осуществляться т.о. генерация и электричества, и тепла. При установке ФЭТ систем на крыше или фасаде требуется меньшая площадь, чем, если бы мы устанавливали отдельно фотоэлектрический модуль и рядом тепловой коллектор.

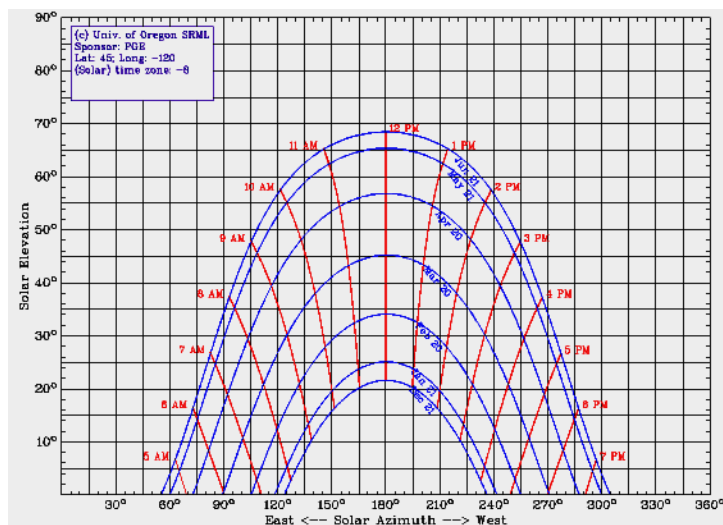


Рис. 5. Угловое положение Солнца в зависимости от месяца и времени

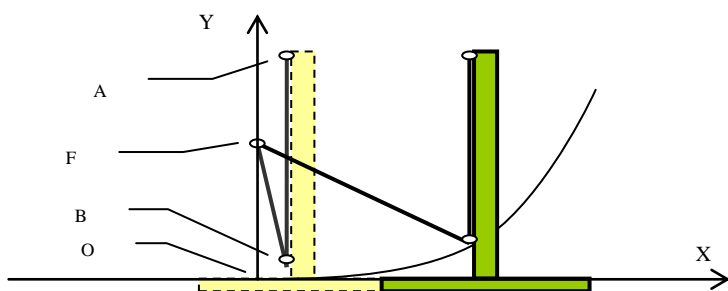


Рис. 6. Построение параболического профиля

режима работы ДСЭ и отказу от материалов на основе пластика срок службы солнечного модуля может быть увеличен до 30–50 лет.

Размеры концентратора определялись из размеров приемного модуля с ДСЭ площадью  $10 \times 10 \text{ см}^2$  в количестве 10 штук. Длина парабоцилиндрического отражателя 1,33 м была больше, чем длина цепочки СЭ (1,02 м с учетом зазоров между элементами), чтобы обеспечить попадание светового пятна при смещении Солнца в некотором диапазоне по часовому углу. Заметим, что при размещении вдоль козырька здания системы, состоящей из идентичных модулей без зазоров между ними, требование к увеличению длины отражателя по сравнению с длиной цепочки СЭ предъявляется только к краям системы. Расчет углов, ограничивающих работу концентратора в заданном диапазоне, проводился с учетом углового положения Солнца. Угловое положение Солнца в зависимости от времени года и суток бралось из диаграммы (рис. 5), генерируемой на веб-сайте лаборатории по солнечному мониторингу (<http://solardat.uoregon.edu>) кафедры физики университета штата Орегон.

Построение парабоцилиндрического профиля отражателя проводилось графически с помощью рейшины и нерастяжимой нити в соответствии с рис. 6. Один из концов нити закрепляется в фокусе рейшины О, другой на верхнем конце рейшины. При смещении рейшины вдоль горизонтального направления карандаш, скользящий вдоль рейшины (т. В), рисует параболу с фокусным расстоянием OF. Затем парабола разворачивалась на заданный апертурный

Главными идеями, положенными в основу такого подхода и защищенными сотрудниками ВИЭСХ российскими патентами [4]: использование двухсторонних солнечных элементов (ДСЭ); использование неизображающих парабоцилиндрических отражающих концентраторов; использование стеклопакетов, заполненных нейтральной охлаждающей жидкостью для герметизации и отвода тепла от солнечных элементов (т.е. без применения традиционных пластиков типа этиленвинилацетат или тефлар (которые обычно деградируют под действием УФ излучения)). Применение ДСЭ с парабоцилиндрическими отражающими концентраторами позволяет увеличить угол «зрения концентратора» и дает возможность проектировать стационарные (без слежения за Солнцем) или квазистационарные (с коррекцией по углу в зависимости от времени года) системы. Благодаря применению стеклопакетов с оптически прозрачной и химически нейтральной к ДСЭ жидкостью для улучшения температурного

угол и к ней дорисовывалась окружность. Полученный профиль переносился на фанерные листы толщиной около 10 мм и вырезался ленточной пилой. Четыре вырезанных фанерных профиля соединялись с помощью алюминиевых направляющих, формируя каркас отражателя, на который затем крепился тонкий металлический лист, служащий подложкой для отражающей пленки (рис. 7). Металлизированная пленка, например, производства компании 3М (представительство есть в России), наклеивалась на подложку как обычная клеящая пленка типа «скотч».

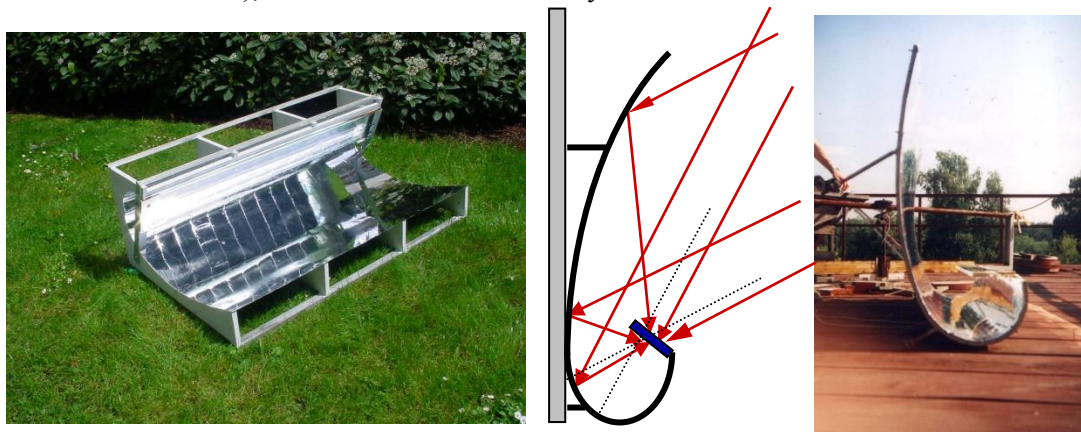


Рис. 7. Горизонтальное и вертикальное исполнение солнечного концентратора

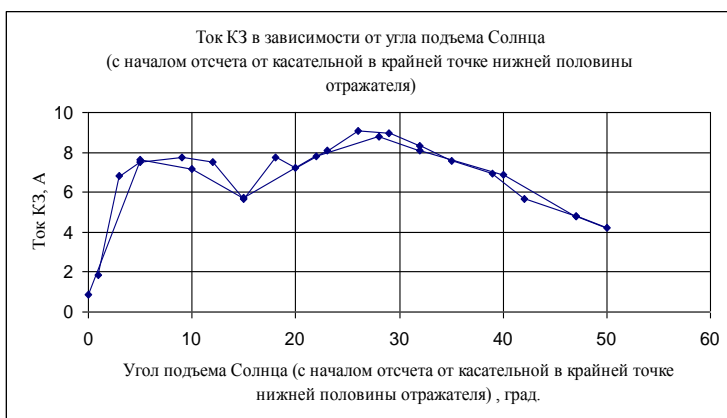


Рис. 8. Угловые характеристики (зависимости токов короткого замыкания от угла подъема Солнца и азимутального угла)

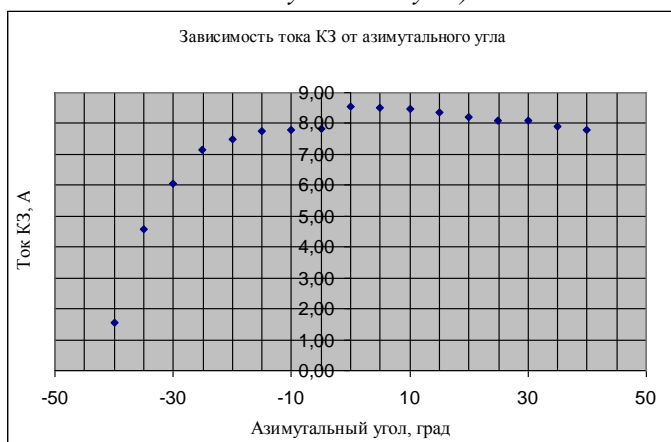


Рис. 9. Угловые характеристики

В качестве примера на рис. 8 и 9 приводятся две основные угловые характеристики (зависимости токов короткого замыкания от угла подъема Солнца и азимутального угла).

Провал в характеристике на рис. 8 объясняется тем, что размер стеклопакета для проверки различных вариантов охлаждения был несколько больше, чем размер ДСЭ и при переходе с лицевой поверхности приемника на тыльную. Световое пятно на краю приемника частично проходило через стеклопакет, не попадая на ДСЭ. Этого снижения можно избежать плотным размещением цепочки скоммутированных СЭ. Асимметричность характеристики на рис. 9 объясняется тем, что правая и левая ветви были измерены в разных условиях (с большим временным интервалом между измерениями и при не симметричных условиях освещения с боковых сторон – вблизи стены здания).

Воздушное охлаждение оказалось простым и эффективным (поток воздуха подводился от воздушной магистрали).

Водяное охлаждение требовало более тщательной герметизации, но важнее с точки зрения использования в практических системах для предварительного подогрева

воды. Система показала хорошую работоспособность с обоими типами охлаждения, является простой в изготовлении, не требующей специального оборудования (ДСЭ поставляются фирмами-изготовителями). Все работы могут выполняться в обычных механических мастерских.

**Выводы.** Для устойчивого развития энергетики необходимо переходить на возобновляемые технологии, такие как использование энергии биомассы, использование солнечной энергии. Комбинированное фотоэлектрическое и тепловое преобразование солнечной энергии (ФЭТ), которое осуществляется в единой интегрированной системе, является перспективным направлением использования солнечной энергии.

Важным результатом описанного ФЭТ подхода является повышение суммарного выхода солнечно-энергетических систем, и, соответственно, их КПД, включая когенерацию электричества и тепла при одновременном снижении требуемой площади. В случае необходимости в ФЭТ солнечно-энергетических системах с концентраторами в соответствии с приоритетами потребителей может быть предусмотрена генерация электричества, тепла и холода – тригенерация. Генерацию холода целесообразно осуществлять в жарких районах, когда пики жаркой погоды совпадают с увеличением потребностей в холоде.

#### Список литературы

1. *Hubbert, M. K. Nuclear Energy and the Fossil Fuels / M. K. Hubbert // Amer. Petrol. Inst. Drilling & Production Practice. Proc. Spring Meeting, San Antonio, Texas, 1956. – P. 7-25.*
2. *Бажанов А. В. Энергетическая стратегия России и развитие возобновляемой энергетики / А. В. Бажанов, И. И. Тюхов // Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве: Труды 6-й Международной научно-техн. конф. Часть 4. Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология, 13-14 мая 2008 г. – М., 2008. – С. 3-8.*
3. *Стребков, Д. С. Физико-химические особенности пиролиза биомассы / Д. С. Стребков, А. С. Холманский, Е. Ю. Сорокина и др. // Исследовано в России. Электронный математический и медико-биологический журнал. – 2008. – Т. 7. – Вып. 3.*
4. *Тюхов, И. И. Солнечный модуль с концентратором: пат. 2 252 371 Рос. Федерация: МПК F 24 02/14, 2/34 / И. И. Тюхов, Б. И. Содномов, Д. С. Стребков; заявитель и патентообладатель ГНУ ВИЭСХ; заявл. 09.07.2003; опубл. 20.05.2005; Бюл. №14.*

Статья поступила в редакцию 11.05.09.

*I. I. Tyukhov*

#### RENEWABLE ENERGY AND FORESTRY FOR SUSTAINABLE FUTURE

*The issues of sustainable development of power engineering on the bases of renewable sources of energy are considered. The needs of transition to the new renewable energy technologies are shown. The concrete technologies of conversion biomass and photoelectric-thermal conversion of solar energy for simultaneous generation electricity and heat are discussed.*

**Key words:** *renewable energy, biomass, sun collectors.*

---

*ТЮХОВ Игорь Иванович* – кандидат технических наук, доцент кафедры ЮНЕСКО и «Возобновляемая энергетика и электрификация сельского хозяйства» Всероссийского института электрификации сельского хозяйства (Москва). Научные интересы – солнечная энергетика, экологические проблемы энергетики, возобновляемые источники энергии, полупроводниковая оптоэлектроника. Автор более 200 публикаций. E-mail: ityukhov@yahoo.com.