

# ИННОВАЦИОННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Д.С. СТРЕБКОВ,  
академик РАСХН, директор ГНУ ВИЭСХ, г. Москва*

**Ключевые слова:** *возобновляемые энергоресурсы, солнечная энергия, резонансный метод передачи электроэнергии.*

Человечество ищет ответы на глобальные вопросы:

- что делать в связи с изменением климата и глобальным потеплением?
- что делать в связи с энергоресурсами, которые распределены крайне неравномерно и истощаются?
- как сохранить стабильность в мире и обеспечить устойчивое развитие при наличии рисков, связанных с изменением климата и недостатком энергоресурсов?
- как обеспечить энергетическую безопасность каждой страны и глобальную безопасность?

Владение ресурсами свободной энергии позволяет ликвидировать нищету, голод и войны, дать возможность получить образование и обеспечить достойные условия жизни гражданам России и двум миллиардам жителей развивающихся стран, которые не имеют сегодня доступа к электроэнергии.

Ответы на эти глобальные вызовы могут быть получены в результате реализации новой энергетической стратегии. Основные направления будущего развития энергетики:

- переход от энергетики, основанной на ископаемом топливе, к бестопливной



энергетике с использованием возобновляемых источников энергии;

- переход на распределенное производство энергии, совмещенное с локальными потребителями энергии;

- создание глобальной солнечной энергетической системы;

- замена нефтепродуктов и природного газа на жидкое и газообразное биотопливо, а ископаемого твердого топлива - на использование энергетичес-

***Renewed power resources,  
solar energy, resonant  
method of transfer of the  
electric power.***

Таблица 1

Мировой солнечный энергетический рынок\*

Показатель	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Объем производства, СW	1,7	2,6	4,0	6,1	10,2	15,1	20,5
Рост производства, %	44	58	53	54	69	48	36
Средняя цена модулей, долл./Вт	3,7	4,3	4,1	3,8	3,7	3,5	3,3
Средняя цена установленной мощности, долл./Вт	7,1	7,8	7,5	7,0	6,6	6,2	5,9
Годовой объем продаж, млрд долл.	12	20	30	43	67	94	121
Прибыль до уплаты налогов, млрд долл.	3	7	11	16	26	38	50
Рост прибыли, %	111	133	56	50	65	47	31

\* Источник: Photon Consulting. URL: <http://www.photon-consultins.com>.

ких плантаций биомассы;

- замена автомобильных двигателей внутреннего сгорания на бесконтактный высокочастотный резонансный электрический транспорт.

По всем направлениям проведены исследования, разработаны технологии и созданы экспериментальные образцы, защищенные российскими патентами.

Новой тенденцией развития российской и мировой энергетики является увеличение доли децентрализованного производства электрической и тепловой энергии экологически чистыми электростанциями. Число крупных экологически опасных электростанций будет сокращаться. Эта тенденция объясняется, с одной стороны, изменением климата и необходимостью выполнения Киотского протокола по снижению выбросов парниковых газов, с другой стороны, децентрализация поставок топлива и энергии увеличивает энергетическую безопасность регионов и страны в целом [1, 2]. Кроме того, распределенное и бестопливное производство энергии с использованием местных энергоресурсов снижает затраты и риски стран-импортеров нефти и увеличивает экспортный потенциал стран-экспортеров топливно-энергетических ресурсов.

Либерализация рынка электроэнергии приведет к подключению к энергосистеме миллионов малых независимых производителей энергии. Управление потоками энергии при наличии миллионов производителей и потребителей возможно только с помощью инфокоммуникационных технологий и средств электронной коммерции. Нанотехнологии позволяют значительно увеличить эффективность использования бестопливной энергетики. Поэтому проблемы развития информационных технологий, нанотехнологий и технологий бестопливной энергетики тесно связаны и прогресс в каждой из этих двух областей техники будет способствовать развитию другой.

#### Солнечная энергетика

Это самая быстрорастущая отрасль энергетики в мире с темпами роста 53% в год и объемом производства в 2008 году 6,1 ГВт на 43 млрд долл. (табл. 1).

Солнечные электростанции с концентраторами в Калифорнии мощностью 354 МВт работают с 1980 года и замещают ежегодно 2 млн баррелей нефти (1 баррель - 159 л).

Для того чтобы конкурировать с топ-

ливной энергетикой, солнечной энергетике необходимо выйти на следующие критерии:

- КПД солнечных электростанций 25%;

- срок службы солнечной электростанции должен составлять 50 лет;

- производство полупроводникового материала для СЭС должно превышать 1 млн т в год при цене не более 25 долл. США/кг;

- стоимость установленного киловатта пиковой мощности солнечной электростанции не должна превышать 1000 долл. США;

- материалы и технологии производства солнечных элементов и модулей должны быть экологически чистыми и безопасными; объем производства - 100 ГВт в год;

- годовое число часов использования мощности солнечной энергосистемы должно быть равно 8760 часов; это означает, что солнечная энергетическая система (СЭС) должна генерировать электроэнергию 24 часа в сутки 12 месяцев в году.

Повышение эффективности преобразования солнечной энергии. Максимальный достигнутый в лаборатории КПД солнечных элементов (СЭ) на основе каскадных гетероструктур составляет 42%, для СЭ из кремния - 24%. Практически все заводы в России и за рубежом выпускают солнечные элементы с КПД 14-17%. Sun Power Corp. (США) начала в 2003 году производство солнечных элементов из кремния размером 125x125 мм с КПД 20%.

В России и за рубежом разрабатывается новое поколение СЭ с предельным КПД до 93%, использующее новые физические принципы, материалы и структуры. Основные усилия направлены на более полное использование всего спектра солнечного излучения и полной энергии фотонов по принципу "каждый фотон должен поглощаться в варизонном или каскадном полупроводнике с запрещенной зоной, ширина которой соответствует энергии этого фотона". Это позволит на 47% снизить потери в СЭ. Для этого разрабатываются [3]:

- каскадные СЭ из полупроводников с различной шириной запрещенной зоны;

- солнечные элементы с переменной шириной запрещенной зоны;

- солнечные элементы с примесными энергетическими уровнями в запрещенной зоне.

Другие подходы к повышению КПД СЭ связаны с использованием концентрированного солнечного излучения, созданием полимерных СЭ, а также наноструктур на основе кремния и фуллеренов.

Новое направление в технологии наносистем, использующее гетерогенные оптические материалы с металлическими наночастицами, имеющими плазмонные резонансы, получило название "наноплазмоника". Наноплазмоника находит практическое применение для повышения эффективности солнечных элементов, изготовления нанопроводов, обработки нанообъектов и высокочувствительных биосенсоров.

В ВИЭСХе разрабатываются новые конструкции солнечных элементов, в фоточувствительный слой которых дополнительно внедрены металлические наночастицы размером 10-30 нм при концентрации указанных наночастиц в указанном слое (1-10) 102 объемных долей.

Металлические наночастицы выбраны так, что частота их плазменного резонанса находится вблизи максимума спектра поглощения нанокристаллов и диэлектрическая проницаемость среды фоточувствительного слоя наносолнечного элемента на частоте солнечного излучения существенно возрастает, что в свою очередь приводит к существенному возрастанию эффективности генерации электронно-дырочных пар. На конструкцию нанокристаллического солнечного элемента и способ его изготовления ВИЭСХом получено решение о выдаче патента РФ.

Новые технологии и материалы позволяют в ближайшем будущем увеличить КПД СЭ на основе каскадных гетероструктур в лаборатории до 45%, в производстве - до 26-30%; КПД СЭ из кремния в лаборатории - до 30%, в промышленности - до 25%.

#### Увеличение срока службы СЭС до 50 лет

Для увеличения срока службы модулей необходимо исключить из конструкции модуля полимерные материалы. В новой конструкции солнечного модуля, разработанной в ВИЭСХе, СЭ помещены в стеклопакет из двух листов стекла, соединенных по торцам пайкой или сваркой. Технология герметизации торцов гарантирует герметичность модуля в течение 50 лет. Для снижения температуры СЭ и оптических потерь внутренней полости модуля заполнена кремнийорганической жидкостью.

#### Снижение стоимости СЭС

Наиболее быстрый путь снижения стоимости и достижения гигаваттного уровня производства СЭС заключается в использовании концентраторов солнечного излучения. Стоимость 1 м<sup>2</sup> площади стеклянного зеркального концентратора в десять раз меньше стоимости 1 м<sup>2</sup> площади СМ. В ВИЭСХе разработаны стационарные концентраторы с коэффициентом концентрации 3,5-10, с

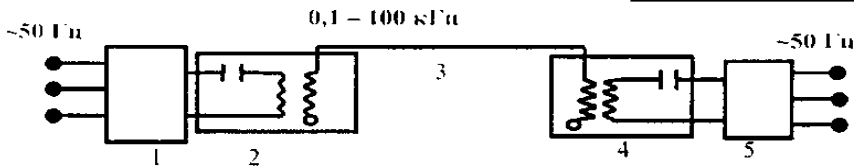


Рисунок 1. Резонансная система передачи электрической энергии состоит из преобразователя (1), двух резонансных высокочастотных трансформаторов Тесла (2, 4), соединенных однопроводниковой высоковольтной линией (3), и инвертора (5)

Таблица 2

Результаты испытаний резонансной системы передачи электрической мощностью 20 кВт

Электрическая мощность на нагрузке	20,52 кВт	
Ток	54 А	
Напряжение	380 В	
Напряжение линии	6,8 кВ	
Частота линии	1 кГц	
Длина линии	6 м	1,2 км
Диаметр провода линии	0,08 мм	1 мм
Максимальная эффективная плотность тока на единицу площади поперечного сечения проводника линии	600 А/мм <sup>2</sup>	
Максимальная удельная электрическая мощность в однопроводниковой линии	4 МВт/мм <sup>2</sup>	

угловой апертурой 480, позволяющие в пределах апертурного угла концентрировать прямую и рассеянную компоненту солнечной радиации [4]. Использование солнечного поликремния низкой стоимости и стационарных концентраторов позволяет сократить сроки достижения стоимости 1000 долл. США/кВт с 2020 до 2015 года.

Комбинированные солнечные электростанции могут обеспечить производственные и жилые объекты электрической энергией, горячей водой и теплом. Коэффициент использования энергии солнца составляет 50-60% при электрическом КПД 10-15%. Использование стационарных концентраторов позволяет увеличить температуру теплоносителя до 90°C и снизить стоимость СЭС до 1000 долл. США/кВт. На основе концентраторных модулей в ВИЭСХе ведутся проработки соединенных с энергосистемой солнечных микро-ТЭЦ для многоквартирных и односемейных домов и промышленных зданий, а также центральные стационарные солнечные электростанции для городов, поселков, сельскохозяйственных и промышленных предприятий. Микро-ТЭЦ для автономного энергообеспечения имеет резервный дизельный электрогенератор с утилизацией теплоты от системы охлаждения и выхлопных газов.

При использовании СЭС органически сочетаются природные ландшафты и среда обитания с энергетическими установками. СЭС образуют пространственно-архитектурные композиции, которые являются солнечными фасадами или солнечными крышами зданий, ферм, торговых центров, складов, крытых автостоянок.

Повышение числа часов использования установленной мощности СЭС

Число часов использования установленной мощности в год составляет

для тепловых электростанций в среднем 5200 час., для ГЭС - 1000-4800 час., для ВЭС - 2000-3000 час., для СЭС - 1000-2500 час. [6].

Стационарная солнечная электростанция с КПД 25% и пиковой мощностью 1 кВт вырабатывает за год в Центральной России и в Германии 2500 кВтч, в пустыне Сахара - до 4300 кВтч. При слежении за солнцем производство электроэнергии при тех же условиях возрастет в России до 3500 кВтч/кВт, в Сахаре - до 6000 кВтч/кВт. Зависимость вырабатываемой энергии СЭС от времени суток и погодных условий является "ахиллесовой пятой" СЭС в конкуренции с электростанциями на ископаемом топливе. Поэтому до настоящего времени в крупномасштабных проектах и прогнозах развития солнечной энергетики предусматривалось аккумулирование солнечной энергии путем электролиза воды и накопления водорода.

В ВИЭСХе проведено компьютерное моделирование параметров глобальной солнечной энергетической системы, состоящей из трех СЭС, установленных в Австралии, Африке и Латинской Америке, соединенных линией электропередач с малыми потерями. При моделировании использовались данные по солнечной радиации за весь период наблюдений. КПД СЭС принимался равным 25% [7].

Базовые солнечные электростанции блочно-модульного типа будут ежегодно увеличивать свою мощность на 100-300 ГВт. Начало функционирования глобальной солнечной энергосистемы - 2025 год. Выход на полную мощность - 2075-2090 годы. В результате реализации проекта доля солнечной энергетики в мировом потреблении электроэнергии составит 75-90%, а выбросы парниковых газов от тепловых электростанций и автомобильного транспорта будут сниже-

ны более чем в 10 раз.

В связи с развитием объединенных энергосистем в Европе, Северной и Южной Америке и предложениями по созданию глобальной солнечной энергосистемы появились задачи по созданию устройств для передачи тераваттных трансконтинентальных потоков электрической энергии. В конкуренцию между системами передачи на переменном и постоянном токе может вступить третий метод - резонансный волноводный метод передачи электрической энергии на повышенной частоте, впервые предложенный Н. Тесла в 1897 году [8].

Н. Тесла рассматривал свою резонансную однопроводниковую систему передачи электрической энергии как альтернативу системе передачи энергии на постоянном токе, предложенной Т. Эдисоном. Конкуренция между системами передачи электрической энергии на постоянном и переменном токе продолжается до настоящего времени, однако все это происходит в рамках классических двух-трехпроводных замкнутых линий электропередач. Мы показали экспериментально, что однопроводниковая линия с высокочастотным резонансным трансформатором Тесла в начале линии может передавать электрическую энергию на любой, в том числе и на нулевой частоте, то есть на выпрямленном токе.

Однопроводниковые резонансные системы (рис. 1) открывают возможности для создания сверхдальних кабельных линий электропередач и, в перспективе, замены существующих воздушных линий на кабельные однопроводниковые линии [9]. Тем самым будет решена одна из важнейших проблем энергетики - повышение надежности электрообеспечения.

В таблице 2 показаны результаты испытаний резонансной однопроводниковой кабельной системы передачи энергии электрической мощностью 20 кВт с длиной кабеля 1,2 км, работающей на частоте 1 кГц, в ВИЭСХе [9].

Использование проводящих сред в резонансном методе передачи электрической энергии демонстрирует также модель электрического катера, получающего электрическую энергию для движения из бассейна с водопроводной водой и живыми рыбками.

В качестве источника электрической энергии в резонансной электрической системе может быть использована ветровая электростанция, солнечная батарея и т.д.

Другое глобальное применение резонансных однопроводниковых систем передач электроэнергии заключается в возможности создания бесконтактного высокочастотного электрического транспорта.

Разработанная нами экспериментальная модель небольшого электромобиля получает энергию от однопроводниковой изолированной кабельной линии, проложенной в дорожном покрытии. Ве-

дуться работы по увеличению мощности бесконтактного привода и разработке коммерческого проекта резонансной электротранспортной системы. В перспективе можно представить большой цветущий зеленый город без выхлопных газов и смога, в котором под каждым рядом движения на главных магистралях установлена кабельная линия, и каждый автомобиль в дополнение к двигателю внутреннего сгорания имеет электрический мотор и бесконтактный троллей. Таким же образом может быть организовано движение на крупных автострадах между городами, в том числе с использованием автоматических электротранспортных средств, управляемых роботами и компьютерами.

Использование электрического бесконтактного привода в сельской электрификации открывает перспективы большой экономии топлива и создания беспилотных, управляемых компьютером со спутниковой навигацией роботов-автоматов для обработки земли, выращивания и уборки сельскохозяйственной продукции. В этом случае сельскохозяйственное производство превратится в фабрики на полях, организованные на принципах автоматизированных промышленных предприятий. Таким образом, могут быть решены еще три современные проблемы электрификации: энергосбережение, снижение вредных выбросов и автоматизация сельскохозяйственного производства

Преимущества резонансного метода передачи электрической энергии:

- электрическая энергия передается с помощью реактивного емкостного тока в резонансном режиме; несанкционированное использование энергии затруднено;

- содержание алюминия и меди в проводах может быть снижено в 5-10 раз;

- потери электроэнергии в однопроводной линии малы, и электроэнергию можно передавать на большие расстояния;

- в однопроводном кабеле невозможны короткие замыкания и такой кабель не может быть причиной пожара.

#### Энергосбережение в зданиях

1. Новые технологии активной теплозащиты зданий с использованием вакуумной теплоизоляции позволяют увеличить поступление тепловой энергии в зданиях на 500 кВтч/м<sup>2</sup> в год и снизить в зданиях потери энергии на 25-30%.

2. Пожаробезопасная резонансная

система с высокоэффективными источниками света позволяет снизить затраты на освещение в помещениях на 25%.

Новая бесполимерная технология сборки солнечного модуля была использована для создания эффективной вакуумной прозрачной теплоизоляции (ВПТИ). ВПТИ состоит из двух сваренных по торцам пластин стекла с вакуумным зазором 50 мкм [12]. При наличии инфракрасного (ИК) покрытия на внутренней поверхности стекол сопротивление теплопередачи может быть увеличено в 10 раз по сравнению с одинарным остеклением зданий. Солнечные коллекторы с вакуумным остеклением будут нагревать воду не до 60, а до 90°C, то есть из установок для горячего водоснабжения переходят в новый тип установок для отопления зданий. В теплицах и зимних садах потери энергии уменьшаются на 50%. Облицовка южных фасадов зданий плитами вакуумной прозрачной теплоизоляции с селективным покрытием превращает здание в гигантский солнечный коллектор производительностью 500 кВтч/м<sup>2</sup> в год и эквивалентно увеличению толщины стен на 1 метр кирпичной кладки при толщине ВПТИ 12 мм.

Особенно эффективно использование ВПТИ в южных районах РФ и в республиках Бурятия, Якутия, где в условиях зимнего антициклона при температуре воздуха -30°C температура селективного покрытия при толщине ВПТИ 10 мм составляет 30°C. Использование ВПТИ в летние месяцы позволит на 50% снизить затраты на кондиционирование зданий.

Разработанная резонансная система электрического освещения (РСЭО) предназначена для питания светильников уличного освещения по однопроводной линии. Экспериментальный образец установки РСЭО содержит источник питания, преобразователь частоты, высоковольтный резонансный трансформатор, соединенный однопроводниковой линией со светильниками с газоразрядными лампами низкого давления.

Резонансная электрическая система освещения зданий предназначена для освещения жилых и бытовых помещений с электропитанием по одному проводу в резонансном режиме. Применяется для:

- освещения больших помещений, интерьеров подземных и наземных сооружений, вокзалов, выставочных павильонов, вагонов;

- освещения жилых, спортивных, промышленных, железнодорожных и сельскохозяйственных объектов.

В таблице 3 представлены технические характеристики солнечной энергетической установки мощностью 900 Вт, разработанной в ВИЭСХе и предназначенной для освещения зданий.

Дальнейшее развитие СЭУ-900 заключается в замене солнечного фотоэлектрического модуля на солнечный фотоэлектрический модуль с концентратором мощностью 900 Вт с уменьшением площади солнечных элементов в 2 раза, замене аккумуляторных батарей (АБ) на суперконденсаторы такой же емкости с удвоенным ресурсом и замене двухпроводной линии на пожаробезопасную однопроводную резонансную линию электроснабжения.

Все компоненты СЭУ-900 за исключением АБ и суперконденсаторов разработаны и производятся на экспериментальном производстве ГНУ ВИЭСХ.

#### Кавитационная нанотехнология получения биогидротоплива

17 марта 2008 года на Чикагской бирже зарегистрирована рекордная цена на пшеницу - 442 долл./т, а на Нью-Йоркской бирже - рекордная цена на нефть: 111 долл./баррель (700 долл./т). Цена на пшеницу приближается к цене на нефть, хотя еще совсем недавно за 1 кг дизельного топлива необходимо было отдать 5 кг зерна.

Рост цен на зерно и масличные растения в определенной степени обусловлен растущим спросом на использование продовольственных культур для получения биотоплива: биоэтанола и биодизельного топлива. Поэтому будущие технологии получения биотоплива должны использовать древесные и сельскохозяйственные отходы, а не продовольственные культуры.

Разрабатывается технология получения смешанного дизельного биогидротоплива с целью увеличения количества легких углеводородов, понижения температуры кристаллизации и снижения количества вредных выбросов продуктов сгорания дизельных двигателей за счет разрыва длинных полимерных цепочек ароматических углеводородов и парафинов.

Применение модифицированного смешанного топлива в дизельных двигателях или энергетических установках приводит к значительной экономии топлива.

По данным лабораторных исследований, после обработки летнего дизельного топлива происходит не только изменение его фракционного состава, но и снижение температуры застывания и вязкости, что значительно повышает экономичность эксплуатации дизелей в зимнее время и их моторесурс. Кроме того, обработка дизельного топлива позволяет провести эффективное обессеривание топлива. При производстве смешанного дизельного биогидротоплива его объем увеличивается на 20%, что

Таблица 3

Техническое предложение на поставку солнечной энергетической установки СЭУ-900 для освещения зданий

Состав солнечной энергетической установки СЭУ-900:	Стоимость
солнечные фотоэлектрические модули общей мощностью 900 Вт	172000 руб.
солнечное зарядное устройство СЗУ-1700 ВА для контроля заряда аккумуляторной батареи	4200 руб.
инвертор 1700-24/220 В со стабилизатором напряжения	16800 руб.
аккумуляторная батарея 2x12 В, 200 А/ч	27000 руб.
Всего: <b>220000 руб.</b> (6133 евро)	
НДС 18% 39600 руб.	
Всего с НДС: <b>259600 руб.</b> (7211 евро)	

## Экономика кормопроизводства

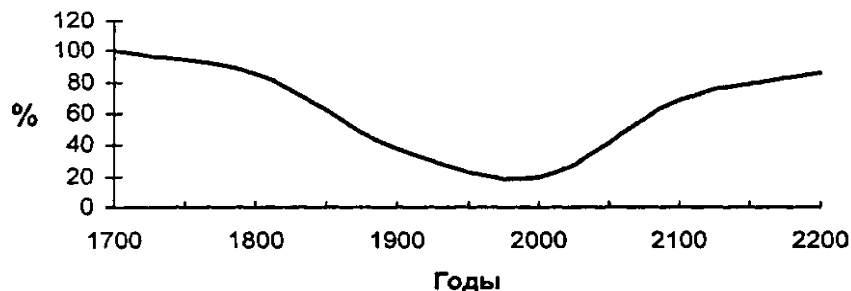


Рисунок 2. Доля возобновляемой энергии в мировом производстве энергии

позволяет в год получить в сельском хозяйстве РФ экономию 1 млн т дизельного топлива.

Смесовое дизельное биогидротопливо может использоваться в энергетических установках кораблей, дизельных электрогенераторов, автомобилей и тракторов с дизельным двигателем. На способ и устройство для получения смешанного дизельного биогидротоплива поданы три заявки на изобретения.

С использованием нанотехнологий по контракту с Минобрнауки в ГНУ ВИЭСХ и ГНУ ВИТИН разрабатываются новые технологии этерификации биодизельного топлива при комнатной температуре с длительностью процесса от нескольких секунд до нескольких минут вместо существующих многочасовых процессов этерификации при высокой температуре.

## Выводы

На рисунке 2 показано изменение доли возобновляемой энергетике в мировом энергопотреблении. До XVII века солнечная энергия и энергия сжигания древесины, в которой солнечная энергия аккумулируется благодаря фотосинтезу, были единственными источниками энергии для человека. И сейчас 20% мирового производства энергии основывается на сжигании древесины, энергии рек и ветровой энергии, основой которых является солнечная энергия. Новые энергетические технологии, новые принципы преобразования возобновляемой энергии, новые технологии производства солнечного кремния, солнечных элементов, герметизации солнечных модулей, использования стационарных солнечных концентраторов и новые методы передачи электрической энергии для глобальной солнечной энергосистемы обеспечат к концу столетия 60-90-процентную долю возобновляемой энергии в мировом производстве энергии.

## Литература

1. Стребков Д. С. Основные направления повышения энергетической безопасности // Глобальная безопасность. 2006. № 1. С. 108-109.
2. Bezrukikh P., Strebkov D et al. // 2001 G8 Renewable Energy Task Force Chairmen's Report 61pp. Chairmen Report Annexes 75 pp. Printed by the Italian Ministry of Environment, 2001.
3. Арбузов Ю. Д., Евдокимов В. М. Основы фотоэлектричества. М. : ГНУ ВИЭСХ, 2007. 289 с.
4. Стребков Д. С., Тверьянович Э. В. Солнечные концентраторы. М. : ГНУ ВИЭСХ, 2007. 315 с.
5. Tsuo Y., Touyryan K., Gee J., Strebkov D., Pinov A., Zadde V. Environmentally Benign Silicon Solar Cell Manufacturing // 2-nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, 6-10 July 1998, Hofburg Kongresszentrum, Vienna, Austria, P. 1199-1204.
6. Безруких П. П., Стребков Д. С. Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии. М. : ГНУ ВИЭСХ, 2005. 263 с.
7. Strebkov D., Irodionov A. Global solar power system // Eurosun – 2004, Freiburg, Germany. 14 Intern. Sonnenforum 2004. Vol. 2. P. 336-343.
8. US Pat. # 593138. Electrical Transformer / Tecla N. - 02.11.1897.
9. Стребков Д. С., Некрасов А. И. Резонансные методы передачи и применения электрической энергии. Изд. 3-е, перераб. и доп. М. : ГНУ ВИЭСХ, 2008. 351 с.
10. Белоцерковский Г. Б. Антенны. М. : Оборонгиз, 1962. С. 34-41, 101.
11. Розенфельд В. Е., Староскольский Н. А. Высокочастотный бесконтактный электрический транспорт. М. : Транспорт, 1975. 200 с.
12. Стребков Д. С., Заддэ В. В., Шеповалова О. В. Вакуумные стеклопакеты для окон и солнечных коллекторов // Возобновляемая энергетика. Март 2004. С. 12.