

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

СПЕЦВЫПУСК

№1 2007

Светлое будущее: ЭНЕРГЕТИКА БЕЗ УГЛЕРОДА

- Очистка угля
- Ядерный выбор
- Надежды на водород
- Биотопливо

ISSN 0208-0621

07001



9 770208 062001 >

www.sciam.ru

SIPNET

формула новой связи

1) Почему SIPNET?

Потому что SIPNET — это бесплатное общение в любой точке мира, где есть Интернет...

2) Для кого?

Для всех пользователей, имеющих доступ в Интернет...

3) Как подключиться?

Зарегистрируйтесь на www.sipnet.ru и получите персональный сетевой номер...

Присоединяйтесь к SIPNET!

SIPNET - это сеть интернет-телефонии нового поколения, в которой реализованы последние достижения в области инфокоммуникаций, обеспечивающие эффективный обмен голосовой и мультимедийной информацией. SIPNET предоставляет пользователям широкий спектр персонализированных услуг с возможностью управления ими.

Все пользователи SIPNET получают возможность настраивать стоимость и качество соединений по любому направлению, заказывать от своего имени и за свой счет связь для двух абонентов в любых точках мира, переадресовывать входящие звонки с SIP ID на любое абонентское устройство, анализировать статистику совершенных соединений и управлять всеми сервисами SIPNET в режиме on-line.

Среди главных преимуществ SIPNET - альтернативная нумерация. Каждый пользователь становится владельцем персонального сетевого номера - SIP ID, являющегося единым идентификатором пользователя в любой точке мира. SIP ID также является e-mail адресом абонента, с функцией голосовой почты.

Вы можете построить собственную виртуальную сеть общения, все разговоры внутри которой будут бесплатными.

www.sipnet.ru

Россия, г. Москва, 117997,
ул. Профсоюзная, д. 84/32, ИКИ РАН
+7 (495) 974-19-25
+7 (800) 200-99-91



содержание

ЯНВАРЬ 2007

ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА:

- 16** **ВВЕДЕНИЕ**
РУКОВОДСТВО ПО УЛУЧШЕНИЮ КЛИМАТА
Гэри Стикс
Борьба с глобальным потеплением потребует как внедрения новых технологий в энергетике, так и выработки новой энергетической политики
- 20** **СТРАТЕГИЯ**
СЕКТОРЫ ГАЗА
Стивен Пакала и Роберт Соколов
Как предотвратить последствия климатических изменений?
- 28** **ТРАНСПОРТ**
ГОРЮЧЕЕ БУДУЩЕГО
Джон Хэйвуд
Как снизить зависимость мировой экономики от нефти и сократить выбросы выхлопных газов?
- 32** **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ**
ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ
Эберхард Йохем
Энергосбережение — самый быстрый и дешевый способ оздоровления атмосферы
- 36** **РЕСУРСЫ**
ЧТО ДЕЛАТЬ С УГЛЕМ?
Дэниел Лашоф, Роберт Уильямс и Дэвид Хокинс
Уголь — топливо недорогое и удобное, но не стоит забывать о темной стороне «черного золота»
- 44** **АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**
ЯДЕРНЫЙ ВАРИАНТ
Джон Дойч и Эрнест Мониц
Развитие атомной энергетики позволит избежать необратимых изменений климата
- 52** **ЭНЕРГЕТИКА**
ЭНЕРГИЧНЫЙ ВЫЗОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ НАУКЕ
Владимир Фортов
Претендовать на заметное место на международной арене могут лишь страны, способные обеспечить свою энергетическую независимость
- 58** **ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**
ЧИСТАЯ ЭНЕРГЕТИКА
Дэниел Камен
Энергия солнца, ветра и биотопливо в скором времени станут главными источниками энергии
- 68** **ВОДОРОДНАЯ ЭКОНОМИКА**
БОЛЬШИЕ НАДЕЖДЫ
Джоан Огден
Использование водородного топлива поможет минимизировать ущерб окружающей среде
- 76** **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**
ЭНЕРГЕТИКА БУДУЩЕГО
Уэйт Гиббс
Если все меры по предотвращению глобального потепления потерпят крах, смогут ли спасти мир принципиально новые источники энергии?

Учредитель и издатель: ЗАО «В мире науки»

Главный редактор: С.П. Капица

Заместитель главного редактора: В.Э. Катаева

Зав. отделами:
фундаментальных исследований А.Ю. Мостинская
естественных наук В.Д. Ардаматская

Арт-директор: Л.П. Рочева

Ответственный секретарь: О.И. Стрельцова

Редакторы: Ю.Г. Юшквичюте,
А.А. Приходько

Выпускающий редактор: М.А. Янушкевич

Спецкорреспондент: Д.В. Костикова

Над номером работали:
А.В. Банкрашков, Е.Г. Богадист, Б.А. Квасов,
М.Б. Молчанов, Т.В. Потапова, И.Е. Сацевич,
Т.Н. Саранцева, В.В. Свечников, П.П. Худoley,
Н.Н. Шафрановская

Научные консультанты:
профессор, доктор экономических наук М.В. Контопов;
профессор, доктор технических наук Е.Ф. Лебедев;
профессор, доктор физико-математических наук С.А. Медин;
академик-секретарь ОЭММПУ РАН В.Е. Фортов

Верстка: А.Р. Гукасян

Корректура: Я.Т. Лебедева

Секретарь: О.С. Быковская

Генеральный директор

ЗАО «В мире науки»: С.А. Бадиков

Главный бухгалтер: Т.М. Братчикова

Помощник бухгалтера: С.М. Амелина

Отдел распространения: Л.В. Старшинова

Подписка: О.А. Флакова

Старший менеджер

по связям с общественностью: А.А. Рогова

Адрес редакции и издателя:

105005, Москва, ул. Радио, д. 22, к. 409

Телефон: (495) 727-35-30, тел./факс (495) 105-03-72

e-mail: edit@sciam.ru; www.sciam.ru

Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.

В верстке использованы шрифты Helios и BookmanC

Отпечатано в Эстонии, типография Printall

Петербургское шоссе, дом 64а, Таллинн 11415, Эстония

E-mail: myyk@printall.ee

Тел: +372 669-8400; Факс: +372 644-421

Факс отдела маркетинга: +372 669-8426

© В МИРЕ НАУКИ

Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати.

Свидетельство ПИ №ФС77-19285 от 30.12.2004

Тираж: 10 000 экземпляров

Цена договорная.

Перепечатка текстов и иллюстраций только с письменного согласия редакции. При цитировании ссылка на «В мире науки» обязательна. Редакция не всегда разделяет точку зрения авторов и не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

SCIENTIFIC AMERICAN

ESTABLISHED 1845

Editor in Chief: John Rennie

Editors: Mark Alpert, Steven Ashley, Graham P. Collins,
Steve Mirsky, George Musser, Christine Soares

News Editor: Philip M. Yam

Contributing editors: Mark Fichetti,

Marguerite Holloway, Philip E. Ross,
Michael Shermer, Sarah Simpson, Carol Ezzell Webb

Art director: Edward Bell

Vice President and publisher: Bruce Brandfon

Chairman emeritus: John J. Hanley

Chairman: John Sargent

President and chief executive

officer: Gretchen G. Teichgraeber

Vice President and managing director,

international: Dean Sanderson

Vice President: Frances Newburg

© 2004 by Scientific American, Inc.

Торговая марка Scientific American, ее текст и шрифтовое оформление являются исключительной собственностью Scientific American, Inc. и использованы здесь в соответствии с лицензионным договором.

РАЗДЕЛЫ:

ОТ РЕДАКЦИИ ТЕРЯЯ ВРЕМЯ

3

4

50, 100, 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД

6

СОБЫТИЯ, ФАКТЫ, КОММЕНТАРИИ

- Спорные подсчеты
- Чернобыль и выживание рода человеческого
- Коралловая бледность
- Вулканическая активность Луны
- Метан: хорошие новости
- Летим на Марс
- Брюссель — Эврика
- Мускулистые пиксели
- Блестящий бум или мыльный пузырь?
- Новое оружие против рака
- Антифриз: Арктика в прошлом
- Ожидает ли нас энергетический кризис?
- Литература для интеллектуалов

86

ЗНАНИЕ — СИЛА ВЫСОКАЯ ЗАДАЧА

Марк Фишетти

Водонапорная башня — основа механизма балансировки давления в водопроводной системе

88

ИННОВАЦИИ ПРАЗДНИК ЛЕСА В ДЕТСКОМ САДУ

Татьяна Потапова

«Лаборатория оптимизации природопользования» разработала ряд новых подходов к экологическому образованию и воспитанию детей и подростков

90

ОБЗОРЫ:

КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ



ТЕРЯЯ ВРЕМЯ

После того как в декабре 1991 г. над Кремлем был поднят бело-сине-красный российский флаг, что ознаменовало конец Советского Союза и биполярного мира, США попытались взять на себя роль международного лидера в масштабах, небывалых со времен Римской империи. Тем не менее, Америка проявляет удивительную недалекновидность в своей энергетической политике, связанной, в частности, с изменением климата.

В недавно опубликованной научной статье экономиста Джеффри Сакса (Jeffrey Sachs) и геофизика Клауса Лакнера (Klaus S. Lackner) высказывалась озабоченность пассивным отношением администрации Буша к проблеме глобального потепления. В ней отмечалось, что высшее руководство страны надеется только на чудо: например, «по щучьему велению, по его хотению» вдруг обнаружатся несметные запасы топлива, не содержащего углерода, или будет найден дешевый способ предотвращения выброса парниковых газов.

В целом проблема глобального потепления никогда не была приоритетной для руководства США. О причинах догадаться несложно: согласно статистике, в 2003 г. каждый гражданин этой страны потреблял в 2 раза больше энергии, чем европеец, и почти в 10 раз больше, чем китаец. Чтобы умерить свои энергетические аппетиты, жителям Америки придется изменить свои привычки.

Однако чтобы добиться экономического роста и стабильности, необходимы продуманные экономическая и политическая стратегии

и принятие мер по повышению эффективности использования энергии на транспорте, в жилищном хозяйстве, в производстве, а также по переходу на энергосберегающие технологии. Для осуществления вышесказанного Соединенным Штатам, на долю которых приходится почти четверть промышленных выбросов углерода, придется смириться с необходимостью сокращения вредоносных выбросов в атмосферу и финансирования исследований в этой области.

В России, подписавшей Киотский протокол, в рамках федеральных целевых программ уже предпринимаются первые шаги в этом направлении.

Несмотря на то, что у РФ оказался большой запас квот (29%), в нашей стране разрабатываются меры по снижению техногенных выбросов, основанные на мониторинге, оценке и прогнозе экономических последствий изменения климата. При этом основное внимание, с одной стороны, уделяется структуре растущего внутреннего энергопотребления и крупномасштабным мероприятиям по ограничению и снижению выбросов парниковых газов, с другой — комплексному изучению возможного влияния антропогенных изменений климата на территории России на экологические системы, климатозависимые отрасли экономики и условия жизни населения.

Неизбежный рост энергопотребления в России, согласно Энергетической стратегии РФ на период до 2020 г., будет сопровождаться мероприятиями по повышению эффективности энергопотребления



ТЕМНАЯ ТЕНЬ: Лидерство США в энергопотреблении снижает шансы на улучшение мировой экологической ситуации

и снижению энергоемкости (и карбономкости) ВВП. Однако все это требует серьезных вложений, четкой организации и государственного контроля, экономии энергоресурсов и перехода на энергосберегающие технологии. На основе количественных оценок и прогноза роста энергопотребления, снижения энергоемкости, а также изменения объемов хозяйственной деятельности, связанной с выбросами парниковых газов (например, потребления ископаемого топлива в различных отраслях экономики) будет возможно учитывать ожидаемые темпы внедрения в различных отраслях промышленности прогрессивных энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Однако без доброй воли всех промышленно развитых государств и таких развивающихся стран с высокими темпами экономического роста, как Китай и Индия, перспективы эффективных действий в глобальном масштабе начнут таять вместе с арктическими ледниками. ■

Современное положение дел ■ О пользе полетов ■ Новости из Африки

ЯНВАРЬ 1957

СКУКА. В наш век полуавтоматизации, когда не только военные, но и многие рабочие больше заняты наблюдением за станками, обостряется проблема поведения человека в ситуациях монотонии. В 1951 г. физиолог Дональд Хэбб (Donald O. Hebb) из Университета Макгилла получил от Управления оборонных исследований Канады грант для проведения систематического изучения этого феномена. Длительное воздействие монотонных внешних условий приводит к вредным последствиям. Мыслительные процессы индивида замедляются, он демонстрирует инфантильные эмоциональные реакции, могут появиться галлюцинации и измениться характеристики энцефалограммы.

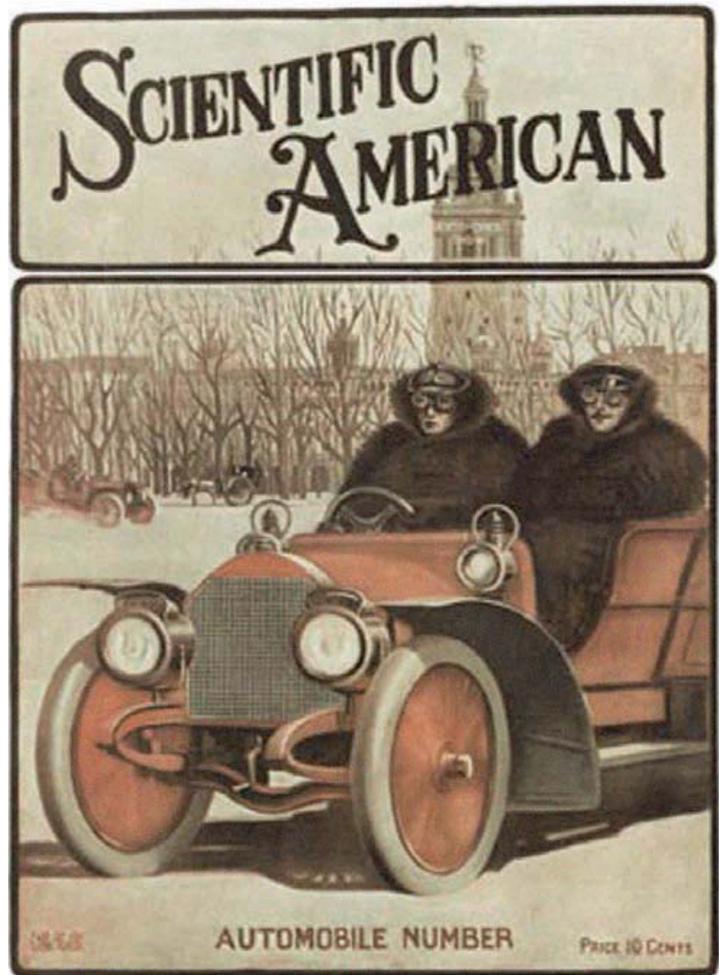
БЕСПОКОЙСТВО. В конце прошлого года продажи успокоительного препарата мепробамата, более известного как милтаун или экванил, подскочили до \$32,5 млн. в год. Было продано больше миллиарда таблеток, но даже ежемесячное производство 50 т лекарства не удовлетворяет спрос. В окнах некоторых аптек Калифорнии можно увидеть плакаты: «Сегодня у нас есть милтаун!»

ЯНВАРЬ 1907

АВТОШИК. Импозантная внешность автомобилей этого года выпуска в значительной степени связана с улучшением колесной базы, которая для некоторых большегрузных машин теперь достигает 123 дюймов. Кроме того, использование двигателей с шестью цилиндрами привело к увеличению мощности и удлинению капота. Уделив внимание этим деталям, даже изготовители маломощных и дешевых авто добавили своим моделям шика, недостаточного в более ранних моделях.

ПОЛЕТЫ ВО ИМЯ СПОРТА И ВОЙНЫ. С появлением самолета основной акцент будет перенесен с дирижаблей на него. Областью его применения будет в основном военная служба, где аэроплан неocenим для разведывания целей и доставки срочных грузов. Но, вероятно, больше всего крылатая машина будет востребована в спорте, где ее популярность будет сравнима с популярностью автомобиля.

ЧАЙНЫЕ ДЕНЬГИ. Кирпичный чай (прессованная заварка) на Востоке имеет необычное назначение — он используется в качестве денег. Такая «валюта» все еще в обращении во внутренних областях Китая, на центрально-азиатских ярмарках и базарах. Между монгольской Ургой и сибирской Кяхтой этими «деньгами» производится полмиллиона расчетов (около \$600 тыс.). В Кяхте прессованная заварка со временем перестает использоваться как валюта и вливается в торговлю этим продуктом в Сибири и России. Кирпичный чай популярен в Российской армии, у инженеров-геодезистов, театральных трупп и туристов.



МОДНЫЕ АВТОМОБИЛИ, январь 1907 г.

ЯНВАРЬ 1857

РЕАЛИТИ-ШОУ. Серьезное испытание конструкции висячего моста над Ниагарским водопадом произошло вечером 13 декабря, во время бури. Сборщики платы покинули свои посты с обеих сторон, и толпы зевак собрались, чтобы увидеть, как мост упадет, но он стоял подобно скале.

РАССКАЗЫ ДОКТОРА ЛИВИНГСТОНА. Известный путешественник доктор Ливингстон читал лекции с самого возвращения в Англию. Весь март он провел один среди дикарей, для которых его белое лицо было чудом. Доктор Ливингстон был вынужден бороться с неопытными трудностями, побеждая враждебность аборигенов своим хорошим знанием характера и языка пигмеев. Он сплавлялся по рекам и спал во мху и иле болот, часто столь пропитанным водой, что он был вынужден превратить свою подмышку в карман для часов. Доктор встретил огромное количество львов, которых многие племена считают носителями душ их вождей. Ливингстон считает, что африканских диких животных больше боятся в Англии, чем в Африке.

Тематика статей номера, как всегда, широка и разнообразна.

Если наша цель — такое государство, которое помимо богатых ресурсно-сырьевых источников имеет мощную промышленность и энергетику, сельское хозяйство, армию, здравоохранение, образование, культуру, спорт, ему нужны достижения науки и люди, способные эти достижения правильным образом использовать. Но рассуждая таким образом, мы неизменно возвращаемся к наиболее важной проблеме современной России — проблеме просвещения и образования.

Ст. «Первым делом самолеты!».

Записывая показания счетчика, мы, как правило, не задумываемся, откуда электроэнергия пришла в дом. Читали про могучие ГЭС, построенные в годы пятилеток, и про Единую энергетическую систему, созданную тогда же. Слышали про министерства, главки, Мосэнерго, Ленэнерго и прочие подразделения государственной системы. Знали, что энергетика работала достаточно успешно. Она и сейчас работает. Правда, хуже. Кроме того, энергетика перестала быть целиком государственной. Распределительные сети перешли под управление частных компаний.

Как работает энергетика в новых условиях? Какие проблемы они решают? Что ждет потребителей? И вообще, будет ли свет в наших домах?

Ст. «Электричество: доставить и распределить».

В октябре 2006 года в Москве прошла Всероссийская научная конференция «Национальная идентичность России и демографический кризис», организованная Российской академией наук. В конференции приняли участие демографы ведущих научных учреждений, работающих в этой области. Название конференции говорит само за себя. Страну поразил серьезнейший демографический кризис, который все больше ученых склонны называть демографической катастрофой. В таком состоянии пришел в третье тысячелетие народ государства, возраст которого перевалил за тысячу лет. Народ этот постепенно исчезает с лица Земли, так и не сумев идентифицировать, то есть определить, свое место на планете и в истории.

Ст. «Исчезающая Россия?».

Крохотный планктонный рачок калаянус, кто он — раб морских течений, хаотично дрейфующий по океану, или искусный наездник, использующий энергию движения морской воды для планомерных перемещений? Пристальный интерес биологов к этому рачку объясняется не только тем, что от его распределения и численности зависит рыбная продуктивность Северной Атлантики. Данные о миграции калаянуса расширяют наши представления о тайнах жизни неприметных обитателей океана.

Ст. «Оседлавшие морские течения».

После трагической гибели Александра II (он погиб от бомбы народовольца) его сын, Александр III, да и значительная часть российского общества пришли к выводу, что покойный государь «распустил» Россию и ее следует, говоря словами философа К.Н. Леонтьева, «подморозить». Люди, не отягощенные даром размышления, были убеждены, что таким образом можно вообще сохранить все как есть. Более дальновидные осознавали неизбежность перемен, однако, считая ситуацию тупиковой, всеми силами пытались отсрочить неизбежное.

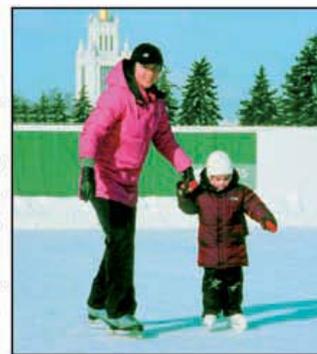


ISSN 0028-1263

НАУКА И ЖИЗНЬ

1
2007

● Бесспорно, для цивилизации XX век стал веком космоса
● Богатство России в мозгах, а не в недрах — академик Евгений Каблов призывает это наконец осознать
● Эфир, «отмененный» сто лет назад, может снова найти место в физике
● И чего только нет в природе: хвойные с листьями, самые настоящими!
● Улыбайтесь, господа! Но пользуйтесь «смайликами» умело
● А Эйнштейн-то был отличником.



Собственно говоря, вся дальнейшая история России до 1917 года — это поиски решения сложнейшей задачи. Но чем дальше откладывались меры по выходу из кризиса, тем дороже за них расплачивались впоследствии.

Ст. «Судьба реформатора в эпоху катаклизмов».

Подсчитано, что проживающий в мегаполисе рядовой автолюбитель ежедневно проводит в легковой машине в среднем около двух часов, то есть 14 часов в неделю, или

728 часов (целый месяц) в году. Мы коротаем это время по-разному: одни ездят, вынужденно слушая мерное гудение двигателя, другие разговаривают с пассажирами или по мобильному телефону, третьи с помощью встроенного кассетного магнитофона или CD-плеера изучают иностранный язык. Но большинство слушают музыку. Об акустике в автомобиле и этапах ее совершенствования в очередной статье в рубрике «Из истории техники».

Ст. «Автомобилю — хороший звук».

спорные подсчеты



Юный пациент проходит лечение в Киеве

Авария на Чернобыльской АЭС произошла 20 лет назад, но с ее печальными последствиями мы будем иметь дело еще 60 лет. При взрыве произошел выброс, рассеявший радиоактивные частицы по всему Северному полушарию. Точных данных об ожидаемых человеческих потерях до сих пор нет.

Источник чаще всего упоминающей цифры (4 тыс. смертельных исходов) — пресс-релиз ООН 2005 г. Любопытно, что эти данные названы «новыми», взятыми из исследования «международной группы, состоящей более чем из 100 ученых», несмотря на то, что цитируемый труд датирован 1996 г. и принадлежит перу всего лишь 7 специалистов. Еще более странно то, что в работе 1996 г. говорится о 9 тыс. смертей. «Это либо намеренная недомолвка, либо вопиющая ошибка, — говорит Дэвид Марплс (David Marples), историк из Университета Альберты, автор нескольких книг о Чернобыле. — В любом случае, эти данные неприемлемы с научной точки зрения». Того же мнения придерживается Кейт Бэверсток (Keith Baverstock),

бывший глава Европейского регионального бюро отделения по защите от радиации ВОЗ, называя информацию релиза ООН «избирательной и вводящей в заблуждение».

Представители МАГАТЭ категорически не согласны с подобной трактовкой, заявляя, что и МАГАТЭ, и ВОЗ считают цифру 4 тыс. верной, потому что расчеты, давшие дополнительные 5 тыс., настолько неточны, что обе организации «сочли их несущественными». Однако ВОЗ в целях исправления «неточностей» документа ООН выпустила в апреле 2005 г. официальный отчет. Роберт Альварес (Robert Alvarez), бывший старший консультант по вопросам общей политики Департамента энергетики, считает, что установка на ускорение темпов экспансии ядерной энергетики во всем мире побуждает МАГАТЭ замалчивать истинное число смертей, последовавших в результате чернобыльской аварии.

Между тем, 9 тыс. — это, возможно, значительно заниженная оценка масштабов бедствия. Элизабет Кардис (Elizabeth Cardis), глава коллектива авторов исследования 1996 г.,

сотрудник Международного агентства по изучению рака (Лион, Франция), специализированного учреждения ВОЗ, ограничила свой анализ ситуации рассмотрением пораженных радиацией регионов Украины, Беларуси и запада России, однако, согласно докладу ООН 1998 г., 64% чернобыльской радиации пришлось на территории вне бывшего СССР.

В апреле этого года Кардис и ее новая команда расширили рамки исследования, включив в них всю Европу. В дополнение к полученным еще в исследовании 1996 г. сведениям о смерти 2,2 тыс. ликвидаторов последствий аварии они предсказывают, что к 2065 г. жертвами «чернобыльского рака» могут стать от 6,7 до 38 тыс. жителей Европы. Другие расчеты прогнозируют человеческие потери в размере от 30 до 60 тыс.

Расчеты планируемого количества жертв Чернобыля противоречивы еще и потому, что их основой стали наблюдения за людьми, пережившими ядерные бомбардировки 1945 г. в Японии, а они получили более серьезные дозы облучения, причем мгновенно, тогда как, например, ликвидаторы годами подвергались воздействию малых доз. Наконец, одни исследователи считают, что любое количество радиации вредит человеку, и вред пропорционален дозе, другие же — что существует некий порог, дозы радиации ниже которого безвредны.

Мы, вероятно, никогда не узнаем, кто прав в «чернобыльской угадке». Кардис отмечает, что каждого четвертого жителя нашей планеты убивает рак, и что к 2065 г. около 117 млн. европейцев погибнут от рака не чернобыльского происхождения. Так что, хотя атомные аварии становятся причиной многих тысяч смертей, к сожалению, точное количество жертв «чернобыльского рака» определить невозможно.

Джон Миллер

Чернобыль: ВЫЖИВАНИЕ РОДА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО

Российский психондокринолог А.И. Белкин в работе «Третий пол», обсуждая разницу между женским и мужским организмом, отмечал, что первому отводится преимущественно охранительная, консервативная роль «тыла», и страхующего от слишком поспешных, неадекватных ситуационных метаморфоз. Второму же присуща авангардная, разведывательная позиция, благодаря которой обеспечиваются оперативность и быстрота реакции на внешние воздействия.

Впрочем, эту точку зрения считают очевидной далеко не все ученые. Профессор, доктор исторических наук М.Л. Бутовская считает, что в условиях социальных потрясений часто быстрее и адекватнее обычно реагируют женщины. Например, в эпоху перестройки женщины быстрее сориентировались, успешно сменили место работы, тогда как их мужья оставались безработными. То же можно сказать многое о скорости адаптации женщин в эпоху резких экологических изменений.

А.И. Белкин рассматривая ситуацию Чернобыльской катастрофы, ссылается на сообщения об отдаленных последствиях радиационного воздействия, проявившихся у потомства людей, оказавшихся в зоне поражения, но не в эпицентре. За абсолютную достоверность полученных данных поручиться невозможно, поскольку большинство пострадавших были эвакуированы сразу после аварии, а кто-то покинул родные места спустя некоторое время, наблюдать за всеми пострадавшими как за единой группой не представляется возможным, однако есть данные, свидетельствующие о том, что риск пережить «вторую серию» трагедии для мужчин несравненно выше, чем для женщин. Так, у детей, родившихся со всевозможными аномалиями и уродствами,

«чернобыльцами» в большинстве случаев были именно отцы.

Если для каждого человека очевидно, что авария на Чернобыльской АЭС была чудовищной, но единичной трагедией, после которой экологическая обстановка в округе более или менее нормализовалась, то механизм изменчивости отреагировал сразу. Дело в том, что он призван обеспечивать продолжение жизни на Земле даже если губительные факторы становятся постоянными.

На первый взгляд может показаться странным, что задачи механизма изменчивости противоречат конечному результату: вследствие Чернобыльской катастрофы на свет появляются больные дети, у которых крайне мало шансов принять участие в продолжении рода. Но отклонение от нормы, воспринимающееся как болезнь, патологию, уродство, становится результатом «неудачных экспериментов» природы, лихорадочно перебирающей бесчисленное множество вариантов, чтобы найти конструктивное решение сложной задачи. Такое развитие событий дает надежду на то, что в одном случае из многих детский организм трансформируется так, что сможет жить и развиваться, невзирая на губительность среды. Дальше в потомстве новые признаки усилятся, усовершенствуются и будут стимулировать появление новых, еще более важных для выживания и адаптации. Теоретически так может происходить до тех пор, пока не образуется племя, для которого смертоносный радиационный фон станет тем же, что для людей и животных — воздух, богатый кислородом. Однако до сих пор столь кардинальных перемен не наблюдалось.

М.Л. Бутовская считает, что нет оснований полагать, что человечество будет толерантно к радиационному фону. Трудно представить



себе размах генетических перестроек, необходимых для адаптации к высоким дозам радиации. Нет также оснований думать, что детские организмы будут более устойчивы к радиации, чем взрослые, поскольку у маленьких детей более слабая иммунная система. Слабый радиоактивный фон — это одно, а большие дозы радиации, подобные чернобыльским, — совершенно другое. С тем же успехом можно утверждать, что мы можем приспособиться к жизни в атмосфере с повышенным содержанием метана. Разумеется, человек существо адаптивное, но и его возможности не безграничны. На атолле Бикини после взрыва атомной бомбы многие годы могли существовать только тараканы. Даже рыбы близ берегов страдали от большого числа уродств и патологий, а человек — не рыба и не может размножаться с такой колоссальной скоростью».

Михаил Молчанов

КОРАЛЛОВАЯ БЛЕДНОСТЬ



Будут ли коралловые рифы радовать нас яркими красками или станут мертвенно-белыми, во многом зависит от температуры воды. Ученые выяснили, что на состояние коралловых рифов Карибского моря влияют как тихоокеанское сезонное теплое течение Эль-Ниньо, так и наличие пыли в воздухе.

Водоросли *Dinoflagellates algae*, обитающие в коралловых рифах, придают им цвет и обеспечивают их пищей. Когда в Тихом океане возникает Эль-Ниньо или появляются другие благоприятные для потепления условия, эти водоросли исчезают, что пагубно сказывается на состоянии кораллов. «Некоторые

из них способны восстанавливаться, — говорит Дженнифер Гилл (Jennifer Gill), эколог из Университета Восточной Англии (Норидж, Великобритания). — Они просто замедляют скорость роста и размножения. Но многие кораллы гибнут». Однако когда содержание в воздухе твердых частиц высоко, вода остается холодной, благодаря чему водоросли и, соответственно, кораллы процветают.

Гилл с коллегами собрала и сопоставила данные о состоянии кораллов, поведении Эль-Ниньо и уровнях загрязнения атмосферы над Карибским морем аэрозолями в 1983–2000 гг. Это позволило выявить ряд закономерностей.

Стремительные ветра проносятся над Карибским морем миллионы тонн пыли из пустыни Сахары. Ученые выяснили, что твердые частицы защищают коралловые рифы, поглощая и рассеивая солнечные лучи и предотвращая нагрев верхних слоев океана. В годы, когда в том районе происходили извержения вулканов, например, в Мексике и на Филиппинах, кораллы также не подвергались губительному воздействию Эль-Ниньо.

Пытаясь спрогнозировать процесс побеления кораллов в Карибском море, ученые создали модель на основе данных об аэрозольном загрязнении воздуха и о силе Эль-Ниньо. Они рассчитали, что в 2005 г. побелеют 38% рифов. В действительности за прошлый год водоросли *Dinoflagellates algae* исчезли с 33% коралловых рифов.

Возможно, для спасения коралловых рифов будут предприняты необходимые меры. Нельзя же вечно полагаться на милость природы. Гилл предлагает создать в море и на побережьях специальные защитные зоны. Это не остановит побеление кораллов, но в более здоровой среде они станут более жизнеспособными.

Кира Кертин

ВУЛКАНИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЛУНЫ

Ранее считалось, что Луна не изменяется в течение 1–3 млрд. лет. Исследователи, изучавшие детали структуры *Ina* — лунного кратера, диаметр которого составляет 15 км, — на основе фотографий с «Аполлона», предположили, что на протяжении предположительно 1–10 млн. лет там происходила эмиссия газов, а также, что отдельные

части кратера сформировались в это время и даже позже.

Геологи Питер Шульц (Peter Schultz) и Карл Питерс (Carl Pieters) из Университета Брауна, а также Мэтью Стэйд (Matthew Staid) из Планетарного научного института нашли доказательства вулканической активности Луны. На основе фотографий, полученных с панорамной

камеры «Аполлона-15» в 1971 г., исследователи сделали вывод о том, что некоторые особенности кратера указывают на его молодой возраст. «Метеоры стирают детали Луны, — поясняет Шульц, рассказывая о механизмах разрушения лунной поверхности, — а эти структуры сохранились необычайно хорошо: крутые утесы высотой в несколько

метров и грубый глыбовый слой. Подобные элементы рельефа не могли бы выдержать столь долгого испытания временем».

В подтверждение своего открытия исследователи обратили внимание на отсутствие кратеров от астероидов. Ученые смогли четко различить лишь два кратера в рамках структуры *Ipa*. Все это довольно схоже с кратером Южного луча, вблизи которого приземлился «Аполлон-16». Предполагается, что ему 2 млн. лет. Однако структура *Ipa* носит на себе следы других воздействий, которые менее выражены, поэтому оценочный возраст данной структуры определили как не превышающий 10 млн. лет. Третья составляющая доказательств вулканической

активности была получена из спектральных данных, собранных спутником «Клементина» в 1994 г. «На них вы можете различить полосы поглощений минералов в отраженных лучах, — объясняет Шульц. — Со временем конгломераты минералов становятся менее различимыми».

Пол Лоуман (Paul Lowman), геофизик из Годдардовского космического центра NASA, утверждает, что оценка возраста структуры лунной поверхности Шульца непротиворечива. Эта гипотеза поддерживает теорию недавней вулканической активности Луны. По мнению Шульца, хотя вулканизм на Луне прекратился, побочные продукты магматических пород все еще появляются на поверхности.



Теперь Лоуман уже менее убежден в том, что Луна холодна и мертва, и разделяет мнение, что внутри она еще горяча и активна.

Никхиль Сваминатан

Метан: хорошие новости

Химики Калифорнийского университета в Ирвине отслеживают состояние атмосферы с 1978 г. Они отбирают пробы воздуха в 40 точках нашей планеты — от Аляски до Новой Зеландии — и, используя метод газовой хроматографии, определяют уровень содержания метана в нижних слоях атмосферы. Несмотря на то, что этого газа существенно меньше, чем диоксида углерода, по своему значению он занимает второе место среди парниковых газов. Метан не только поглощает тепловое излучение Земли, но и способствует образованию озона, еще одного парникового газа.

Последние 20 лет концентрация метана в атмосфере постоянно увеличивалась (от 1520 частей на млрд. в 1973 г. до 1767 частей на млрд. в 1998 г.). Но результаты последних измерений обескуражили ученых. Проанализировав данные, химики обнаружили, что, достигнув к 2005 г. уровня 1772 частей на млрд., рост концентрации метана стабилизировался. Измерив также уровень содержания этана

и тетрахлорэтилена в периоды незначительных колебаний концентрации метана, ученые определили, что его повышение связано с крупнейшими лесными пожарами (например, в Индонезии в 1997–1998 гг.)

«Молекулы всех трех веществ окисляются при взаимодействии с гидроксидом — радикалом, образующимся из молекул воды», — объясняет участвующий в исследовании нобелевский лауреат, химик Шервуд Роуленд (F. Sherwood Rowland).

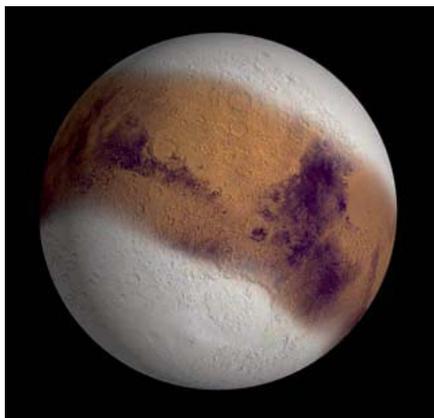
Но это не отвечает на вопрос, почему стабилизировался уровень содержания метана в атмосфере. Мнения специалистов расходятся. Основные гипотезы таковы: уменьшение энергопотребления в результате распада СССР и понижения уровня промышленного производства в бывших союзных республиках; массовый ремонт и устранение протечек на нефте- и газопроводах; уменьшение эмиссии метана из шахт при добыче угля; частые засухи, которые способствуют понижению выделения газа в заболоченных местностях; сокращение производства риса.

Однако у ученых нет причин полагать, что уровень метана останется неизменным. Таяние арктических льдов и вечной мерзлоты в тундре могут высвободить до 10 тера тонн метана, тогда как в атмосфере на сегодняшний день содержится лишь 0,005 тера тонн.

Так или иначе, стабилизация содержания метана в атмосфере — очень хорошая новость: ведь это дает людям возможность переключить свое внимание на основного виновника глобального потепления — углекислый газ. «Уменьшение атмосферной концентрации метана и тетрахлорэтилена в какой-то мере облегчает ситуацию, но это так мало по сравнению с объемами поступления в атмосферу углекислого газа, образующегося при сгорании угля, газа и нефти, — утверждают ученые. — Улучшение ситуации с метаном не решит проблемы, а лишь поможет нам скорее разрешить вопросы эмиссии углекислого газа».

Дэвид Биелло

ЛЕТИМ НА **Марс**



В связи с уникальным экспериментом по моделированию пилотируемого полета на Марс, старт которого планируется зимой 2007 г., проводится большой объем подготовительных работ. В частности, в ходе выполнения программы

«Марс — 500» продолжается набор добровольцев, выразивших желание участвовать в эксперименте. Заявки поступили уже от более 120 человек (в том числе 16 женщин) из 21 страны: Австралии, Аргентины, Бразилии, Беларуси, Великобритании, Индии, Италии, Испании, Колумбии, Мексики, Португалии, США, Украины, Эстонии и др.

Медицинский и психологический отбор добровольцев будет проводиться в два этапа: врачебно-экспертной комиссией (ВЭК) Института медико-биологических проблем. На первом (амбулаторном) этапе кандидаты должны будут представить медицинские документы о состоянии здоровья, затем при условии положительного заключения ВЭК состоится второй этап отбора в ИМБП.

В связи с отбором добровольцев была сформирована и приступила к работе мандатная комиссия. В ее состав вошли врачи, психологи, юристы. Председателем комиссии назначен заместитель директора ИМБП, доктор медицинских наук, врач-космонавт Борис Владимирович Моруков.

В результате переговоров была достигнута договоренность об участии европейских специалистов в различных рабочих группах по подготовке эксперимента, проведении широкого круга научных исследований. Предполагается, что среди участников будущего эксперимента «Марс — 500» будут представители Европейского космического агентства.

«РОСКОСМОС»

БРЮССЕЛЬ — **Эврика**

В конце осени 2006 г. в г. Брюсселе (Бельгия) прошел 55-й Всемирный салон инноваций, научных исследований и новых технологий «Брюссель — Эврика». Это мероприятие организовали и провели Бельгийская палата изобретателей, а также компания «Брюссель — столица», правительство Валлонии, генеральная дирекция по экономике Комиссии Европейского сообщества, Всемирная организация интеллектуальной собственности (ВОИС).

Ежегодный салон «Брюссель — Эврика» — одна из крупнейших международных выставок новых технологий и изобретений. В течение 14 лет Россия постоянно участвует в этом уникальном выставочном форуме, который позволяет российским предприятиям демон-

стрировать свой инновационный потенциал, создает дополнительные возможности для коммерческой реализации объектов интеллектуальной собственности. Российские изобретения неизменно награждаются медалями и удостоиваются многочисленных наград.

На последнем салоне Россия представила коллективную национальную экспозицию. Ее подготовка осуществлялась Научно-технической ассоциацией «Технопол — Москва», официальным национальным делегатом оргкомитета салона в России.

Главной темой салона стало исследование и мирное использование космического пространства, а центральное место заняла крупномасштабная российско-бельгийская экспозиция с участием Европейского космического агентства

и ведущих организаций авиакосмической сферы обеих стран.

В 55-м салоне также участвовал ряд важных российских ведомств: Федеральное агентство по образованию, Федеральное агентство по промышленности, Федеральное агентство по науке и инновациям, Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, РАН. Помимо этого, в российской экспозиции приняли участие более 30 предприятий и организаций.

В рамках салона состоялась торжественная церемония награждения почетными наградами Бельгийской палаты изобретателей, где присутствовали бельгийский принц Филипп и руководители правительства Бельгии.

Олег Чаплин

Мускулистые ПИКСЕЛИ

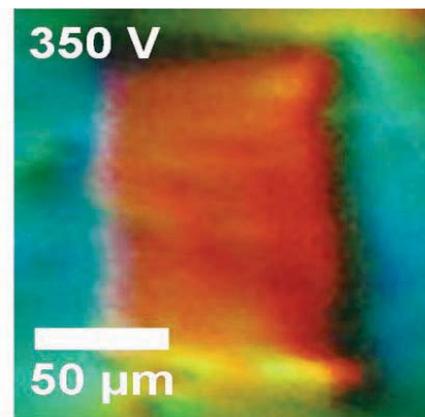
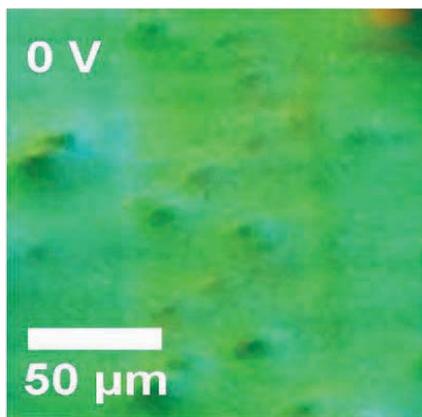
Полимеры расщепляют белый свет

С помощью искусственных мышц (пластиков, растягивающихся и сокращающихся под действием электрического поля) телевизоры и компьютерные мониторы смогут отобразить всю палитру естественных цветов. Крохотные управляемые призмы из этих материалов, возможно, станут пикселями дисплеев будущего.

Электронно-лучевые трубки, жидкокристаллические и плазменные дисплеи не способны передать полный диапазон цветов, воспринимаемых человеческим глазом. Каждый пиксель современных устройств состоит из трех излучающих элементов: красного, зеленого и синего. Регулируя их яркость, можно получить другие цвета, но нельзя охватить все многообразие окружающего мира.

Мануэль Ашванден (Manuel Aschwanden) и Андреас Штемер (Andreas Stemmer) из Швейцарского федерального технологического института в Цюрихе предложили формировать изображение с помощью дифракционных решеток, состоящих из тонких параллельных эквидистантных канавок на отражающей поверхности. Такие решетки разлагают свет на спектральные составляющие не хуже обычных призм.

Исследователи изготовили опытный образец дисплея из 10 пикселей, освещаемых белым светом. Каждая дифракционная решетка шириной 75 мкм состоит из канавок, нанесенных на тонкую полимерную мембрану на расстоянии 1 мкм друг от друга. В зависимости от приложенного электрического напряжения мембрана сжимается или расширяется, в результате чего изменяется ширина зазоров между канавками, а вместе с ней и угол отражения света.



Напряжение рождает цвет: период дифракционной решетки, нанесенной на поверхность крошечной искусственной мышцы, изменяется под действием электрического поля

Это позволяет двигать получаемый спектр из стороны в сторону. Перед дифракционной решеткой располагается ширма с небольшим отверстием, и цвет проходящего через него света зависит от приложенного напряжения.

Чтобы дисплей мог отображать смешанные цвета, каждый его пиксель должен состоять из двух и более дифракционных решеток, поскольку некоторые цвета, например, коричневый, представляют собой сумму нескольких цветов чистого спектра.

По плотности пикселей опытный образец не уступает высококачественным ЖК-матрицам, однако швейцарские ученые признают, что их изобретение еще не скоро превратится в полноценный дисплей. Сейчас они разрабатывают устройство, которое будет состоять из 400 дифракционных решеток, и пытаются создать материал, использование которого позволило бы снизить управляющее напряжение, пока достигающее 300 В.

Поскольку пиксели из дифракционных решеток отражают лишь небольшую часть падающего света, встает непростая задача повышения яркости получаемого изображения. Кроме того, еще предстоит решить вопрос получения достаточно темных пикселей, чтобы обеспечить

приемлемую контрастность. Вероятно, наиболее широкое применение новая технология найдет в пассивных дисплеях, которые отражают естественный дневной свет и чаще всего используются в сотовых телефонах.

Так или иначе, цюрихские исследователи не ограничиваются цветными дисплеями. Они уже представили прототип микроскопа с высокой разрешающей способностью, в котором направление луча монохроматического света изменяется при помощи мембраны из искусственной мышцы.

Стивен Эшли

ЭЛАСТИЧНО И БЫСТРО

Дифракционные решетки, изобретенные еще в начале XIX в., находят широкое применение в проекционных системах и устройствах оптоволоконной связи. Если такую решетку нанести на акриловый диэлектрический эластомер, то она будет растягиваться под действием приложенного электрического напряжения. В отличие от твердых материалов, управляемых механическими приводами, так называемая искусственная мышца может практически мгновенно расширяться на 26–30% под действием электрического поля.

БЛАСТОМЕРНЫЙ БУМ ИЛИ МЫЛЬНЫЙ ПУЗЫРЬ?



Возмутитель спокойствия: новые манипуляции с эмбриональными стволовыми клетками человека вызвали бурю негодования. На этой фотографии, полученной с помощью сканирующего электронного микроскопа, — одна из таких клеток, увеличенная в 4,2 тыс. раз

Можно ли получать человеческие эмбриональные стволовые клетки, не нанося вреда эмбриону? В августе прошлого года специалисты биотехнологической фирмы *Advanced Cell Technology (ACT)* из Вурстера (шт. Массачусетс) заявили, что ими разработан как раз такой метод. Рекламируя свое изобретение, авторы обращали особое внимание на тот факт, что оно поможет снизить накал страстей, который бушует вокруг обычного метода получения эмбриональных стволовых клеток, сопряженного с разрушением человеческого эмбриона. Большинство исследователей отнеслись к новости с интересом — ведь метод давал надежду на получение новых, возможно, лучших, чем прежние, линий стволовых клеток. Но были и такие, кто принял известие в штыки.

Эмбриональные стволовые клетки человека имеют особую ценность для клеточных биологов, потому что они могут давать начало любым типам клеток организма. Этот много-

обещающий инструмент регенерации самых разных частей тела породил массу надежд. В традиционном варианте эмбрион получают путем искусственного оплодотворения *in vitro*. На стадии 50–100 клеток из него отбирают внутреннюю клеточную массу и проводят с ней дальнейшие манипуляции. Сейчас в клиниках США по искусственному оплодотворению находятся по крайней мере 400 тыс. замороженных эмбрионов, при этом ежегодно тысячи из них так и не востребуются.

Вице-президент *ACT* по научно-исследовательской работе Роберт Ланца (Robert Lanza) и его коллеги провели эксперименты с 16 необычными эмбрионами — они находились на стадии всего 8–10 клеток. Специалисты по искусственному оплодотворению каждый раз берут из *in vitro*-эмбрионов на такой стадии единичные клетки для предимплантационной генетической диагностики (ПГД). Эмбрион компенсирует эту утрату, и пока не было ни одного

случая, чтобы после такой процедуры у плода и новорожденного возникали какие-либо аномалии. За 10 лет, прошедших со времени введения в практику процедуры ПГД, родились примерно 1,5 тыс. вполне здоровых младенцев.

Начав с манипуляций, аналогичных таковым при ПГД, исследователи из фирмы *ACT*, используя глазные микропипетки, извлекли 35 бластомеров — по одному или два за прием — из шести эмбрионов. Затем они получили две стабильные линии человеческих эмбриональных клеток, о чем в режиме *on-line* сообщили в журнале *Nature*. Эти линии ничем не отличались от традиционных аналогов: они реплицировались в течение нескольких месяцев и давали начало различным типам клеток.

Ланца и его коллеги во время своих манипуляций разрушали имеющиеся у них эмбрионы, поскольку отбирали из каждого по несколько клеток (до 7). Но, имея в виду, что при стандартной ПГД-процедуре эмбрион не погибает, ученые уверены, что их метод в принципе позволяет получать стволовые клетки, не нанося эмбриону никакого ущерба.

Научный мир встретил это сообщение с большим интересом — ведь стволовые клетки были получены из эмбрионов, находящихся на самых ранних стадиях развития. Нейробиолог Арнольд Кригштейн (Arnold Kriegstein) из Калифорнийского университета в Сан-Франциско обратил внимание на то, что эмбрионы на стадии 50–100 клеток не могут разделиться и дать начало близнецам, в отличие от эмбрионов на стадии 8–10 клеток, с которыми работал Ланца. По мнению Кригштейна, это предполагает, что линии, полученные из более молодых клеток, будут обладать большим потенциалом с точки зрения превращения в ткани разного типа, чем традиционные.

Впрочем, даже если будет доказано, что метод работает, останется много спорных моментов. Так, пока неясно, сможет ли одиночный blastomer развиваться в полноценное человеческое существо. Если да, то мы возвращаемся к тем же этическим проблемам, которые возникли еще на заре развития технологии манипуляций с линиями зародышевых стволовых клеток.

Далее в ходе экспериментов, проведенных Ланца и его коллегами, было разрушено 16 эмбрионов. Как сообщил Совет по биологии при президенте США, неизвестно, будут ли финансироваться эти работы из федерального бюджета, поскольку законодательно запрещена поддержка разработок любых клеточных линий, если это сопряжено с разрушением эмбрионов.

И, наконец, даже если все перечисленные вопросы благополучно

НЕУМЕСТНАЯ РЕКЛАМА

Заметкой, озаглавленной «Новый метод получения стволовых клеток», пресс-служба журнала *Nature* оповестили научный мир о том, что из эмбрионов человека удалось изъять единичные клетки без нанесения самому эмбриону какого-либо вреда. Эта новость, не предоставившая достаточных оснований, чтобы счесть ее верной, получила широкое распространение. *Nature* был вынужден дважды выступить с пояснениями, в журналистской среде разразился скандал. В сентябре в Сенате по этому делу состоялись слушания, на которых в адрес компании АСТ прозвучало много резких слов. «Даже если метод действительно работает, пройдет несколько лет, прежде чем с его помощью можно будет получать хоть сколько-нибудь значимое число клеточных линий, — заявил сенатор Том Харкин (Tom Harkin). — Мы не можем возлагать все свои надежды на один новый непроверенный метод».

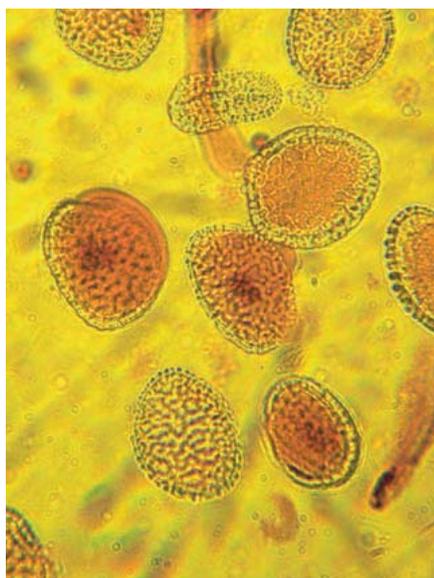
разрешатся, нужно будет преодолеть еще одно препятствие: нежелание участвовать в экспериментах на эмбрионах медицинского персонала и будущих родителей.

Как утверждает Ланца, есть данные, что одиночные blastomeres, возвращенные в эмбрионы, из которых

они были взяты, продолжали развиваться без всякого ущерба для последних. Но вряд ли это сообщение успокоит врачей и их пациентов. Скорее всего, они предпочтут, чтобы в развитие будущего ребенка никто не вмешивался.

Чарлз Чой

НОВОЕ ОРУЖИЕ ПРОТИВ РАКА



Иммунные клетки, взятые от некоторых больных, могут распознавать растущие опухоли и атаковать их. Стивен Розенберг (Steven Rosenberg) вместе со своими коллегами из Института раковых заболеваний

клонировали гены рецептора, наделяющего иммунные клетки этой способностью. Гены были взяты от больного меланомой, организм которого справился с заболеванием, и с помощью ретровирусного вектора введены в регуляторные Т-клетки 17 больных меланомой. После курса химиотерапии генетически модифицированные лимфоциты инъецировали в организм пациентов. Обнаружилось, что клетки не были отторгнуты иммунной системой, и через месяц их доля среди всех Т-клеток составила от 5 до 96% у 15 из 17 больных. Более того, у двух пациентов спустя 18 месяцев после инъекции исчезли какие-либо признаки заболевания и наблюдался высокий уровень генетически модифицированных иммунных клеток в крови. Работа опубликована полностью в журнале *Science* за 31 августа 2006 г.

Дэвид Биелло

АНТИФРИЗ

Глубинные отложения, полученные ледоколами и судами-бурильщиками, заставляют пересмотреть представления об условиях, существовавших в Арктике приблизительно 55 млн. лет назад.

В течение нескольких миллионов лет климат на Северном полюсе был как во Флориде благодаря влиянию парниковых газов — результата неизвестного геологического процесса.

Температура, согласно полученным образцам, была на 10 °C выше, чем предсказанная при помощи компьютерного моделирования. Вероятно, парниковые газы оказывали более мощное влияние на климат, чем считалось ранее. Средняя ежегодная температура на Северном полюсе: **-20 °C**

Температура 55 млн. лет назад: **23 °C**

Концентрация диоксида углерода в атмосфере сегодня (частей на миллион): **380**

Концентрация 55 млн. лет назад: **2 тыс.**

Глобальное повышение средней температуры: **5 °C**

Начало «оледенения»: **45 млн. лет назад**

ОЖИДАЕТ ЛИ НАС ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КРИЗИС?



Жизнь современного человека невозможна без энергии. Оказалось, что традиционные ресурсы исчерпаемы, а чтобы перейти к альтернативной энергетике, необходимо решить массу проблем.

В ноябре 2006 г. в Екатеринбургe собрались ведущие специалисты по энергетике Уральского региона и журналисты. Участники научного кафе Любовь Стрельникова, главный редактор журнала «Химия и жизнь» и агентства «ИнформНаука», и Сергей Катасонов, руководитель сайта www.radionauka.ru, подняли для обсуждения актуальные вопросы.

На прошедшей встрече выступил Владимир Бегалов, директор Института региональной энергетики Уральского государственного технического университета, отметив, что продолжительность жизни в разных странах прямо пропорциональна потреблению энергии на душу населения. Например, в Канаде, где средняя продолжительность жизни приближается к 80 годам, на человека в год приходится

8 т условного топлива, поэтому для высокого уровня жизни необходимо достаточно много энергии. Что касается России, то она первая в мире по энергоёмкости продукции (по сравнению с Японией — выше более чем в 2 раза). Энергию мы не считаем и не бережем, полагая, что ее у нас достаточно.

Промышленный Уральский регион традиционно относится к районам с высоким потреблением энергии. Сжиганием угля получают 40% энергии, сжиганием газа — 50%, остальная часть приходится на биоресурсы — дрова, лесопромышленные отходы. В упадке находится гидроэнергетика, работают только несколько гидроэлектростанций.

Альтернативная энергетика в нашей стране находится в зачаточном состоянии, в то время как в Европе она развивается бурно. Страны Евросоюза всерьез делают ставку на энергию солнца, ветра, воды, земных недр и на водородную энергетiku. Данными исследований в области водородной энергетики в России поделился Анатолий

Демин из Института высокотемпературной электрохимии. По всем расчетам, КПД тепловых электростанций в нашей стране не превышает 30%, а КПД водородных топливных элементов существенно выше, и постепенно будет снижаться их стоимость.

В. Бегалов также отметил некоторые виды альтернативной энергетики, которые можно реально использовать в ближайшем будущем. Среди них — тепловые насосы, которые можно установить в коллекторах, где происходит сброс горячей воды, а также сжигание биотоплива, получаемого, в том числе, из щепок и опилок.

Все участники научного кафе в своих выступлениях говорили об экономии энергии. В связи с этим, как отметил В. Бегалов, необходимо проведение трех групп мероприятий: энергоменеджмента — управления, энергомониторинга — контроля, и, наконец, внедрения новых технологий и модернизации оборудования.

Масштабные «блэкауты», которые в последние несколько лет поразили сначала Америку, а потом Европу, заставляют задуматься о нашей уязвимости. Всякий раз причина аварий в электросетях — в нарушении режима, в результате чего энергосеть становится неустойчивой. Если подобного рода аварии приводили к катастрофам в экономически развитых странах, то страшно представить, что может случиться в России, если ток отключится в нескольких областях.

Журналисты и гости научного кафе в конце встречи пришли к выводу о том, что человечеству надо иметь устойчивую и многоукладную энергетiku, основанную на использовании разных ресурсов, постоянно модернизировать технологии и, самое главное, экономить.

«Химия и жизнь — XXI век»

литература для ИНТЕЛЛЕКТУАЛОВ

Ежегодная международная ноябрьская ярмарка интеллектуальной литературы *Non/Fiction* в Центральном Доме художника в Москве стала уже традиционным объединением усилий издателей, писателей и культурной общественности для увеличения количества читателей в нашей стране. В этом году книжная ярмарка сохранила свою главную особенность: на ней экспонировались лучшие образцы гуманитарной, образовательной и художественной литературы, книги по искусству, дизайну и архитектуре, деловая литература. Выставка была представлена 240 издательствами из 16 стран и 8 специальными проектами.

Важной составляющей выставки стала специализированная профессиональная программа «Культура

чтения». В ее рамках прошли семинары и круглые столы для книгоиздателей. Джон Мак Нами (Президент Международной ассоциации книоторговцев, Ирландия) прочел лекцию о проблеме дигитализации книг (т.е. преобразовании книг в цифровой формат). Издательство «НЛО» провело дискуссию о новациях в литературе, издательство «Европа» — круглый стол на тему «Общественная палата РФ и книгоиздание». Прошел также круглый стол Национальной детской премии «Заветная мечта», посвященный детской литературе. Отдельное мероприятие — Международный круглый стол «Литература для подростков — кому и зачем это выгодно? Мировой опыт и российская действительность» было посвящено особенностям подростковой

литературы (организаторы — издательство «Самокат», посольства Швеции, Франции, Норвегии).

В этом году специально для общения посетителей ярмарки с писателями был организован «Авторский зал», где представили свои работы норвежские писатели Хербьерг Вассму, Рой Якобсен и Юстейн Гордер, шведская писательница Аника Тор и многие др.

В «Зоне семинаров» выступили такие именитые гости, как английский драматург Том Стоппард, классик отечественной литературы Чингиз Айтматов, известный российский эссеист и поэт Петр Вайль, израильский публицист и писатель Линор Горалик, финские авторы Чель Весте и Даниэль Кац.

Михаил Молчанов



НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА

"ТЕХНОСФЕРА"



Н. Канани
Парфянская батарея. Электрический ток 2000 лет назад?

... 14 июня 1936 года близ Багдада при раскопках древней парфянской столицы Ктесифона был найден небольшой керамический сосуд, содержащий медную трубку и железный стержень. Было высказано предположение, что это мог быть древнейший гальванический элемент. Действительно, при наполнении копии сосуда электролитом, например, уксусом, удавалось получить ток! В занимательной, хотя и достаточно строгой форме автор приводит доводы за и против этой гипотезы; сам он считает изобретение парфянами батареек вполне вероятным.



А. Е. Иванов
Задачник по физике (Механика). Поступи в вуз без репетитора!

В учебном пособии собраны задачи разной степени сложности: от простых до весьма нетривиальных, которые предлагаются на приемных экзаменах в самые сильные технические вузы. Сборник создавался автором в течение многих лет работы в приемной комиссии и подготовки абитуриентов. Книга будет полезна будущим абитуриентам и преподавателям физико-математических лицеев, гимназий, факультетов довузовской подготовки.

Принимаются заявки на книги с доставкой по России наложенным платежом или с предоплатой по счету. По почте: 125319 Москва, а/я 594, издательство "Техносфера" По факсу: (495) 9563346 E-mail: knigi@technosphere.ru Полная информация о всех вышедших и готовящихся к печати книгах находится на сайте www.technosphere.ru

в мире науки [01] январь 2007

15

Гэри Стикс

руководство

ПО УЛУЧШЕНИЮ КЛИМАТА



**Приходится признать,
что глобальное
потепление —
не выдумка ученых,
а реальность.
И если мы хотим
справиться
с проблемой,
то придется
изменить свое
отношение и к ней,
и к применению
новых технологий
в энергетике**

С давних времен люди пытались проложить путь из Атлантики в Тихий океан через скованные льдами приполярные северные территории. Как правило, экспедиции терпели крах: их подстерегали всевозможные лишения, холод, голод, цинга, и они вынуждены были возвращаться назад (что удавалось, правда, не всегда). Но вот пришло время, когда мечты великих мореплавателей, таких как Френсис Дрейк и Джеймс Кук, могут стать реальностью. Возвестит о новой эре в истории путешествий столбик термометра, который поднимается все выше и выше и достигнет критической отметки лет через 40, а возможно, и раньше. И тогда открывшийся морской путь через северные воды станет в коммерческом отношении не менее значимым, чем Панамский канал.

К сожалению, появление нового судоходного пути — одно из очень немногих положительных последствий быстрого изменения климата. Таяние ледников, нарушение системы теплых течений Гольфстрим, небывалые перепады температур будут сопровождаться наводнениями, ураганами, засухами, распространением инфекционных болезней.

Все чаще и чаще появляются тревожные сообщения о губительных последствиях повышения концентрации соединений углерода в окружающей среде, об угрозе для жизни обитателей океанов, о крупных пожарах в разных регионах земного шара, связанных с необычайной жарой.

Сегодня содержание в земной атмосфере диоксида углерода составляет примерно 400 м.д. — показатель выше, чем когда-либо ранее, — и если не принять решительных мер, то к 2050 г. он достигнет 500 м.д.

Парниковые газы (пары воды, диоксид углерода и метан) сами по себе необходимы для жизни на Земле. Они предотвращают полное рассеивание тепловой энергии, получаемой Землей от Солнца, в космосе и поддерживают на поверхности планеты температуру, подходящую для жизни и простейших, и самых сложных организмов. Но если таких газов становится слишком много, то термометр начинает зашкаливать. В истории существует 20 рекордно жарких лет, которые приходится на период с 1980 г. до наших дней.

Что случится, если события будут развиваться подобным образом и дальше, в точности не знает никто. Конкретную дату окончательного превращения полярных ледовых шапок в воду предсказать невозможно, что дает основание скептикам из администрации президента США сомневаться в самом факте глобального потепления. Но ни один специалист в области климатологии не желал бы оказаться свидетелем того, что будет твориться на Земле, когда содержание диоксида углерода в ее атмосфере намного превысит 500 м.д.

Придется договариваться

Преображение нашей планеты из оранжереи в безжизненную пустыню — самая серьезная угроза, с которой может столкнуться человечество за всю историю своего существования. Чтобы противостоять ей, необходимо сконцентрировать все научные, производственные, материальные и финансовые ресурсы планеты на ограничении выбросов

парниковых газов в атмосферу. Решение подобной задачи займет многие десятки лет, и по своим масштабам она превзойдет такие грандиозные проекты, как полет на Луну и Манхэттенский проект.

Изменение климата требует глобальной реструктуризации всей энергетики. О запасах ископаемого топлива всерьез задумались только после того, как возникла опасность изменения климата. Даже если добыча нефти вскоре прекратится, Земля сможет «продержаться» на угле еще около 100 лет. Однако любое использование ископаемого топлива, которое сейчас дает 80% потребляемой энергии, станет проблемой, если не будет принято международное соглашение об уровне выбросов углерода.

Как только на смену консенсусу по вопросу изменения климата между специалистами придет соглашение по поводу конкретных действий, проблема сразу перейдет в политическую плоскость. Хотя жители США составляют лишь 5% населения земного шара, на их долю приходится 25% суммарного количества выбросов углерода. Правительство страны отказывается ратифицировать Киотский протокол и принять на себя обязательство снизить уровень выделения парниковых газов на 7% относительно уровня 1990 г. Руководство Америки забывает об одной важной проблеме: о том, что развивающиеся страны не согласны ограничить свои вредные выбросы. Проблема встанет в полный рост, если в 2012 г. по истечении срока действия Киотского протокола вступит в силу какое-либо другое из рассматриваемых сегодня соглашений. Бурный рост экономики Китая и Индии заставит развитые страны обратиться к ним с призывом сократить выброс парниковых газов. Скорее всего, ответом будет отказ, еще более категоричный, чем тот, с которым они сами сегодня выступают. В конце концов, жители Шенжена и Хайдерабада имеют право строить у себя столь же процветающую экономику, какую некогда создали Детройт или Франкфурт. ▶

ЖАРА НАСТУПАЕТ

Один из американских сенаторов назвал глобальное потепление «величайшей мистификацией» всех времен и народов. Однако, несмотря на риторическую трескотню, скептикам все труднее находить аргументы «против»: все громче звучат аргументы «за», основанные на научных фактах



Результаты одного из многочисленных исследований, свидетельствующие о резком подъеме среднегодовой температуры, были подвергнуты резкой критике со стороны противников концепции глобального потепления. В докладе, опубликованном в июне 2006 г. Национальным исследовательским советом, указывается на реальность резкого, почти вертикального подъема температуры в течение XXI в.



Бесконечные вереницы автомобилей на автострадах Америки служат прекрасной иллюстрацией того, как велико потребление энергии на душу населения в стране. Но развивающиеся государства тоже не стоят на месте. Многие жители Китая мечтают пересечь с велосипеда на автомобиль



ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ. Парниковый эффект был необходимой предпосылкой возникновения жизни на Земле



JEN CHRISTIANSEN, SOURCE: IPCC THIRD ASSESSMENT REPORT (graph); RICHARD MICHAEL PRUITT Dallas Morning News/Corbis (SUVs); FREDERIC J. BROWN AFP/Getty Images (China); LUCY READING-IKKANDA (illustrations)

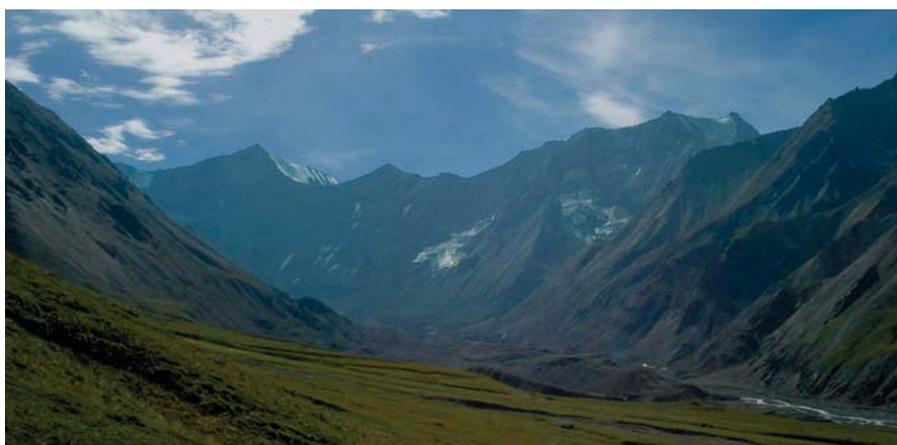
Киотский протокол может считаться первым необходимым шагом, наметившим путь, по которому нам предстоит идти. Для стабилизации уровня вредных выбросов нужен более конкретный план, предусматривающий неизбежность развития экономики и необходимость параллельного создания «безуглеродной» энергетической инфраструктуры.

Промышленные группы, представляющие ядерную энергетику, акцентируют внимание только на одном из возможных подходов к решению проблемы. Однако априорное предпочтение какой-то одной технологии может завести в тупик и не позволит вовремя перейти к новой энергетической политике. На необходимости многостороннего подхода настаивают профессор Принстонского университета Роберт Соколов (Robert H. Socolow) и Стивен Пакала (Stephen W. Pacala), авторы статьи «Секторы газа», опубликованной в этом номере журнала. Исследователи подробно рассказывают, как благодаря диверсификации энергетики можно стабилизировать выбросы углерода уже к середине нынешнего века.

Возможно, прорыв в создании новых солнечных элементов приведет к эре фотоэлектричества, когда и металлургический завод, и пользователь мобильного телефона будут получать энергию из одного источника. Но если подобного не произойдет, то для перехода к безуглеродной энергетике понадобится развитие альтернативных технологий, основанных на использовании «биологического топлива», энергии приливов и отливов, ядерной энергии, водородного топлива и т.д. Возможные варианты обсуждаются ведущими специалистами в статьях, опубликованных в этом номере журнала. Рассматриваются даже такие проекты, как строительство солнечных электростанций в открытом космосе или создание генератора, работающего на принципе управляемого термоядерного синтеза.

Так жить нельзя

Планирование уровня выбросов углерода на 50–100 лет — бес-



ПРЕЖДЕ И ТЕПЕРЬ. В августе 1939 г. ледник Сансет в Национальном парке Денали на Аляске покрывал весь склон горы. На фотографии, сделанной 65 лет спустя, видно, что от ледника ничего не осталось

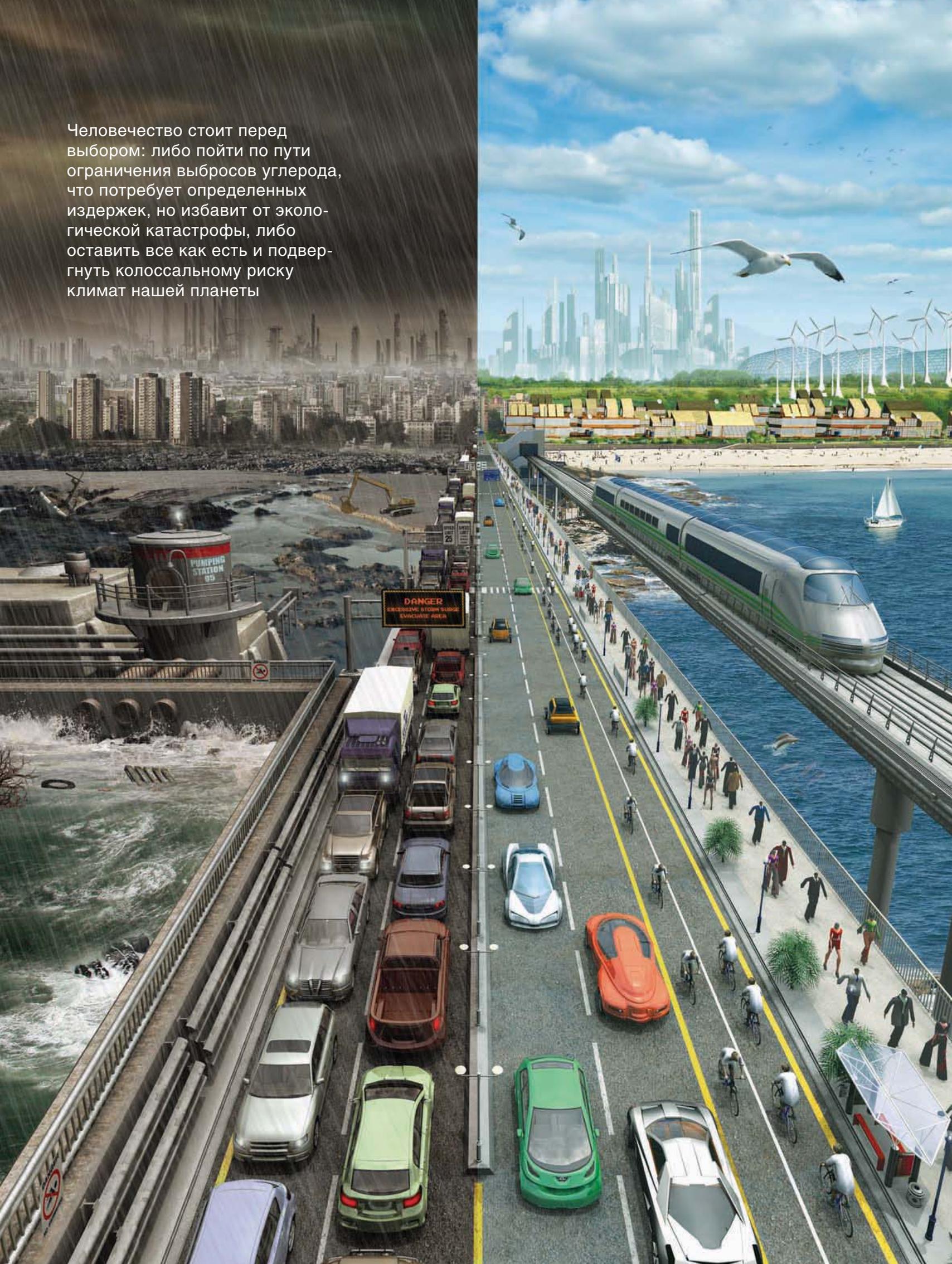
смысленная затея. Слабая надежда на то, что концентрацию диоксида углерода в атмосфере удастся удержать на уровне 500 м.д., основывается на том, что в ближайшем будущем начнется реализация жестких программ повышения эффективности использования энергии, принятых правительствами разных стран. При этом США должны вслед за Европой выработать новую политику, подразумевающую установление некоего налога на выброс углерода в атмосферу. Подобная мера позволит выиграть время и поможет специалистам оценить перспективы внедрения альтернативных методов получения энергии.

Возможно, в ближайшие десятилетия появится новый чудодейственный способ получения энергии, который разом решит все наши энергетические и климатические проблемы. Однако не менее вероятен

и другой сценарий: неудача с ратификацией Киотского протокола и постоянные споры между государствами по поводу мер, которые необходимо принять в связи с изменением климата, приведут к неконтрольному использованию ископаемого топлива.

Скептики так объясняют свое неприятие научных аргументов, служащих основой концепции глобального потепления: «Кто-то называет происходящее загрязнением окружающей среды, а мы называем это жизнью». Неопределенность в оценках степени и скорости потепления несомненно существует. Но последствия бездействия будут гораздо серьезнее, чем тот урон, который может понести экономика вследствие принятия превентивных мер. Если мы будем ждать, пока растают ледяные щиты у полюсов Земли, то вскоре сделать что-либо окажется невозможным. ■

Человечество стоит перед выбором: либо пойти по пути ограничения выбросов углерода, что потребует определенных издержек, но избавит от экологической катастрофы, либо оставить все как есть и подвергнуть колоссальному риску климат нашей планеты



Стивен Пакала и Роберт Соколов

СЕКТОРЫ **2020**

Тающие ледники,
свирепствующие
ураганы, небывалая
жара, отощавшие
полярные
медведи — таковы
первые признаки
наступающего
глобального
потепления.
Как предотвратить
последствия
климатических
изменений?

Ежегодно предприятия угольной, нефтяной и газовой промышленности вместе с полезными ископаемыми потребляют извлеченные из недр земли 7 млрд. т углерода, которые почти полностью сжигаются, выделяя углекислый газ. Сегодня его концентрация в атмосфере почти в 2 раза выше, чем до начала промышленной революции XVIII в. А что произойдет через 50 или 100 лет? Чтобы ответить на этот вопрос, 2 года назад мы разработали простую схему, показывающую соотношение выбросов углекислого газа в будущем.

Разрабатывая систему секторов, мы стремились быть предельно прагматичными и реалистичными, поэтому брали во внимание только те положительные результаты, которые дает целенаправленная энергетическая политика, а не произвольное развитие событий. Кроме того, учитываются лишь стратегии, предусматривающие развитие уже существующих технологий.

Мы предложили два варианта развития событий в ближайшие полвека. Согласно первому сценарию,

выброс углекислого газа будет осуществляться теми же темпами, что и в последние 30 лет, и к 2056 г. его содержание в атмосфере достигнет 14 млрд. т, что в 3 раза больше, чем в доиндустриальный период. В таком случае даже декарбонизация энергетической системы, основанная в первую очередь на сокращении числа морально устаревших электростанций, работающих на угле и вырабатывающих в 2 раза больше углерода на единицу электроэнергии, нежели станции, работающие на газе, не спасет ситуацию. Второй возможный вариант предполагает, что до середины XXI в. объемы выбросов останутся на нынешнем уровне (7 млрд. т в год), а в следующие полстолетия уменьшатся наполовину, что позволит избежать удвоения уровня выбросов углекислого газа. Два графика, отражающие потенциальный объем выбросов на протяжении 50 лет, образуют треугольник стабилизации (*врез на стр. 23*). Чтобы наглядно проиллюстрировать механизм сокращения поступления углерода в атмосферу к 2056 г., мы разделили ▶

его на 7 равных частей, или секторов, каждый из которых соответствует 1 млрд. т предотвращенных выбросов. Приведем такой пример возможной экономии: если современный автомобиль проходит 16 тыс. км в год и расходует при этом 7,5 л горючего на 100 км, то в воздух попадает около 1 т продуктов сгорания. Специалисты по вопросам транспорта считают, что в 2056 г. на дорогах мира будет 2 млрд. автомобилей, из выхлопных труб которых будет выбрасываться око-

здравоохранения, организации досуга, банковского дела и т.д.) будет опережать энергоемкое производство.

Кроме того, широкомасштабное внедрение инновационных технологий позволяет постепенно отказываться от энергоемких приборов в пользу более экономичных и эффективных.

Сегодня, когда 60% мировой электроэнергии (70% из них — в США) расходуется на нужды жилых домов, торговых и офисных помеще-

В наших силах ограничивать выбросы углекислого газа в течение 50 лет, не сдерживая при этом экономический рост

ло 2 млрд. т углерода. Однако если двигатели станут более экономичными, то на 100 км хватит 3,7 л бензина, а вредные выбросы составят 1 млрд. т.

На протяжении последних 3 десятилетий прирост мирового валового внутреннего продукта составлял в среднем 3% в год, при этом выброс углерода увеличивался в 2 раза медленнее. Таким образом, коэффициент соотношения мощности выброса к ВВП, получивший название углеродной интенсивности мировой экономики, ежегодно уменьшался примерно на 1,5%. Чтобы в 2056 г. данный показатель остался на прежнем уровне, снижение углеродной интенсивности и рост глобальной экономики должны идти одинаковыми темпами. Это вполне возможно, если по мере роста благосостояния общества развитие сектора услуг (образования,

которых и впредь будут потреблять большую часть энергии, оснащение зданий экономичными системами освещения и обогрева, а также энергосберегающими приборами позволит существенно снизить энергопотребление и заполнить 2 сектора. Еще один сектор будет получен, если и промышленность также найдет способы более рационально использовать электроэнергию. Ведь эффективное энергопотребление — лучшая альтернатива ее производству.

Если бы печально известная своей расточительностью современная энергосистема была перестроена таким образом, чтобы во главу угла ставилась эффективность энергопотребления, то необходимость в огромном количестве электростанций и бездумной эксплуатации нефтяных и газовых месторождений отпала бы.

Декарбонизация энергетических мощностей

Внедрение энергоэффективных технологий не устранит потребности в угольных электростанциях. Из 14 млрд. т углерода, которые могут попасть в атмосферу к 2056 г., 6 млрд. т, возможно, будут результатом сжигания угля. Однако электростанции должны будут не только ограничить выброс углерода, но также улавливать его и закачивать в подземные хранилища (см.: Соколов Р. Похороны глобального потепления // ВМН, № 10, 2005). Таким образом, чтобы обеспечить заполняемость очередного сектора экономики, компаниям необходимо оснастить 800 крупных электростанций оборудованием для поглощения и хранения углекислого газа, который в противном случае улетучился бы в атмосферу. Благодаря такой технологии добыча и потребление угля не станут противоречить программе ограничения выбросов углерода.

Аналогичный подход может быть использован и на крупных газовых электростанциях, что, возможно, позволит заполнить еще один сектор. Свой вклад также могут внести атомные станции, а также станции, работающие на возобновляемых энергоресурсах, получаемых непосредственно от Солнца с помощью солнечных батарей либо путем использования фокусирующих зеркал для нагрева жидкости и приведения в движение турбин. Для выработки энергии пригодны также сила воды и ветра. Существуют и геотермальные энергоресурсы, получаемые за счет тепла земных недр. Строго говоря, они не относятся к возобновляемым источникам энергии, хотя их обычно включают в данную категорию. Более интенсивное распоряжение любыми из названных возможностей также может обеспечить сектор.

Использование атомной энергии — вероятно, самая спорная из всех «секторных стратегий». Если к 2056 г. число атомных электростанций увеличится в 5 раз, и они вытеснят угольные, то будут

ОБЗОР

■ Человечество способно выпустить в атмосферу такое количество углекислого газа, что климатические условия могут подвергнуться непредсказуемым изменениям. По сравнению с XVIII в. уровень выброса углекислого газа увеличился почти вдвое. Специалисты считают, что опасность возрастает по мере приближения к этой критической отметке.

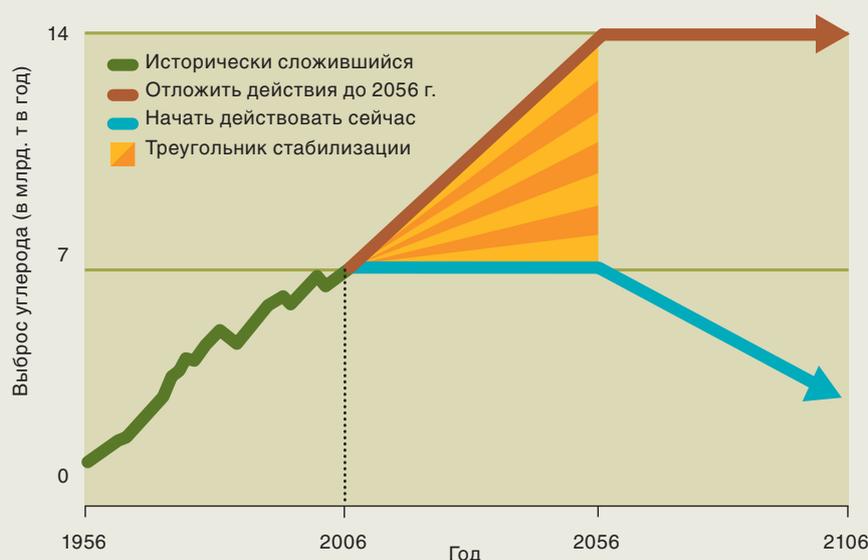
■ Чтобы наглядно представить себе поставленную задачу и пути ее решения, ученые предложили разбить весь объем подлежащего сокращению выброса на сектора, отражающие направления действий, соответствующих имеющейся технологии.

РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

При существующих темпах увеличения выбросов углекислого газа к 2056 г., их объем возрастет вдвое по сравнению с сегодняшним днем (*внизу слева*). Даже если будут приняты меры по удержанию выбросов на нынешнем уровне, концентрация CO_2 в атмосфере скоро достигнет максимального значения — более 560 частей на миллион, что вдвое больше, чем в доиндустриальный период (*внизу справа*). Чтобы добиться стабилизации и дальнейшего сокращения выбросов, важно не допустить столь высокой концентрации углекислого газа в атмосфере

ЕЖЕГОДНЫЙ ВЫБРОС

Между двумя векторами роста объема выброса углекислого газа находится так называемый «треугольник стабилизации». Он иллюстрирует совокупное уменьшение выброса, которого следует добиться в ближайшие 50 лет с помощью безопасных для климата технологий



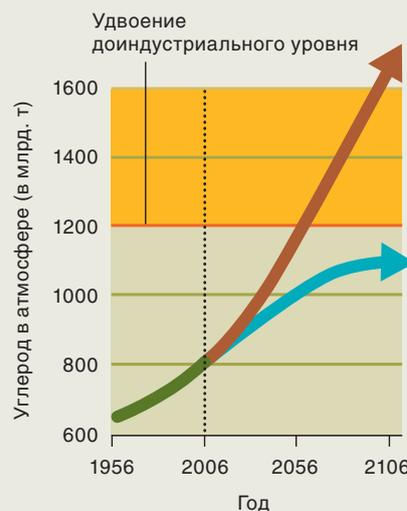
КОНЦЕПЦИЯ СЕКТОРОВ

Стабилизационный треугольник можно разделить на 7 секторов, каждый из которых позволит сократить выброс углерода на 25 млрд. т за 50 лет. Сектор оказался удачной единицей измерения, т.к. он отражает объем и временные рамки реальных достижений, осуществимых с помощью конкретных технологий. Существует множество путей заполнения всех 7 секторов



ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО

1 млн. т углекислого газа приводит к выбросу в атмосферу в общей сложности 2,1 млрд. т углерода. Поэтому критический уровень в 560 частей на миллион составил бы около 1200 млрд. т углерода, что значительно больше современных показателей, составляющих 800 млрд. т. Разница в 400 млрд. т соответствует 800 млрд. тонн выброса, поскольку половина углекислого газа, выброшенного в атмосферу, поглощается океанами и лесами. Две траектории изменения концентрации показывают два варианта выброса (*слева*)



заполнены 2 сектора. Если же существующие атомные объекты будут закрыты и заменены угольными, да еще не оснащенными системой улавливания и хранения углерода, результатом будет потеря половины сектора. Судьба ядерной энергетики зависит в конечном счете от решения двух проблем: утилизации отходов и безопасности, поскольку неэффективно управляемые предприятия могут поставить под угрозу будущее всей отрасли. Кроме того, необходима система жестких правил,

призванных не допустить разработку оружия массового уничтожения на основе гражданских ядерных технологий. Причем такой регламент должен быть единым для всех стран во избежание двойных стандартов и создания тайных объектов.

В 2002 г. 43% выброса углерода в результате использования ископаемого топлива приходилось на нефть, 37% на уголь, а остальное — на природный газ. Более половины добываемой нефти уходит на производство горючего для

двигателей внутреннего сгорания. Поэтому внедрения передовых технологий получения электроэнергии недостаточно, чтобы заполнить «треугольник стабилизации»: необходима также декарбонизация транспорта. Здесь также существуют три взаимодополняющих способа, за счет которых можно получить по крайней мере один сектор: необходимо уменьшить потребление топлива, повысить эффективность использования электроэнергии и осуществить декарбонизацию ▶

энергоресурсов. На практике можно сократить число поездок на автомобиле за счет решения некоторых проблем с помощью телекоммуникаций, а бензин может быть заменен топливом с низким выбросом углерода, произведенным из стерни или биомассы. Перспективным представляется также водородный двигатель.

В интересах энергетической безопасности транспортную систему следовало бы перевести на интенсивное использование углерода, т.е. на производство горючего не из неф-

синтетическое горючее, могут собирать и сохранять их. Если произойдет переход на такие технологии, сокращенные объемы вредных выбросов составят один сектор.

Некоторые части «треугольника стабилизации» и вовсе не требуют применения новых технологий. Например, если бы фермеры стали обрабатывать почву без обычного вспахивания, они бы добавили целый сектор. Прекращение уничтожения лесов заполнило бы 2 участка. Сокращение выброса метана могло бы тоже внести свой вклад. Необходи-

тельно высчитать стоимость выброса углерода. По нашим оценкам, затраты на то, чтобы начать переход мировой экономики на новые рельсы, составят примерно \$100–200 на тонну углерода, т.е. владельцам угольных электростанций будет выгоднее улавливать и хранить углекислый газ, чем выпускать его в атмосферу. По мере развития техники цена может еще больше снизиться. Названная стоимость тонны выброса углерода сопоставима с текущим производственным кредитом США на возобновляемые источники и атомную энергию сравнительно с углем и составляет примерно половину субсидии США на этиловый спирт в сравнении с бензином. По той же цене страны Европейского союза торговали выбросами углекислого газа в течение почти целого года, с 2005 по 2006 гг. (в 3,7 т углекислого газа содержится 1 т углерода, поэтому цена составляет \$27 за тонну углекислого газа). Если исходить из содержания углерода, то \$100 за 1 т углерода соответствует \$12 на баррель нефти и \$60 на тонну угля. Таким образом, стоимость 3,7 литра бензина составит 25 центов, а киловатт/часа электроэнергии, полученной из угля, — 2 цента.

Но подсчитать стоимость выбросов углекислого газа недостаточно. Правительствам следует стимулировать внедрение технологий с низким содержанием углерода.

Если выделение углерода в результате использования природного газа будет увеличиваться, совокупный выброс вследствие переработки нефти и угля должен снижаться. И если бедные страны будут его наращивать, то богатым следует его уменьшить. В настоящее время на долю индустриальных государств-членов Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) приходится почти половина выброса углекислого газа на нашей планете, другая часть принадлежит развивающимся регионам и бывшим республикам Советского Союза. Для того чтобы глобальный объем выделяемого углерода оставался на одном ▶

39% — доля США в глобальном выбросе углерода в 1952 г.
23% — доля США в 2002 г.
Ожидается, что этот показатель будет уменьшаться и дальше

ти, а из угля. Его широкомасштабное внедрение снизит мировой спрос на нефть, уменьшит ее стоимость и зависимость многих стран от ее поставок с Ближнего Востока. Но вопрос использования синтетического топлива не так прост. Работающий на нем автомобиль выбрасывает примерно столько же углекислого газа, сколько и обычный бензиновый двигатель. Более того: в процессе производства синтетического горючего из угля выделяется гораздо больше углерода, чем при переработке нефти в бензин, а это приведет к тому, что из расчета на 1,6 км выброс вредных веществ удвоится. Зато предприятия, производящие

димо также учитывать такие факторы, как наличие анаэробных биологических продуктов жизнедеятельности скота, рисовых плантаций и ирригированных земель. Снижение уровня рождаемости также могло бы дать один сектор — например, если бы удалось удержать численность населения в 2056 г. на уровне около 8 млрд. человек вместо планируемых 9 млрд.

План действий

Прежде чем приступить к реализации перечисленных мер, необходимо разработать комплексную политику, которая обеспечила бы заполнение всех 7 секторов. Для начала

ОБ АВТОРАХ

Стивен Пакала (Stephen W. Pacala) и **Роберт Соколов** (Robert H. Socolow) возглавляют программу «Инициатива по сокращению выброса углерода» в Принстонском университете, где профессор Соколов преподает машиностроение, а Пакала — экологию. Этот проект финансируется компаниями *BP* (*British Petroleum*) и *Ford*. Соколов специализируется на энергоэффективных технологиях и борьбе с глобальным выбросом углерода. Вместе с Джоном Хартом (John Harte) он был соредактором опубликованной в 1971 г. книги «Терпеливая Земля» (*Patient Earth*). В 2003 г. он получил премию *Szilar Lectureship* Американского физического общества. Пакала изучает взаимодействие биосферы, атмосферы и гидросферы. Он является директором Института экологии при Принстонском университете.

15 СПОСОБОВ СОЗДАТЬ СЕКТОР

Общую стратегию в отношении углерода на следующие полвека можно разделить на 7 секторов, каждый из которых соответствует сокращению определенного объема выброса углерода. Ниже представлены 15 технологий, способных заполнить сектора (при этом следует избегать двойного подсчета). Каждая из планомерно осуществляемых в течение 50 лет методик предотвратит выброс 25 млрд. т углерода. То, что один сектор оставлен незаполненным, означает, что предлагаемый перечень не является исчерпывающим



¹ К 2056 г. в мире будет 2 млрд. автомобилей. Предположим, что их средний пробег составляет 16 тыс. км в год

² Крупной считается электростанция мощностью в 1 ГВт. Электростанции эксплуатируются 90% времени

³ Здесь и ниже предположим, что электростанции на угле работают 90% времени, и их КПД составляет 50%. В настоящее время электроэнергия, получаемая в результате сжигания угля, эквивалентна эксплуатации 800 таких электростанций

⁴ Предположим, что улавливается 90% углекислого газа

⁵ Предположим, что автомобилю (с пробегом 16 тыс. км в год, что эквивалентно 3,7 л на 100 км) требуется 170 кг водорода в год

⁶ Предположим, что количество синтетического топлива составляет 30 млн. баррелей в день. Предположим, что улавливается половина углерода, изначально содержавшегося в угле

⁷ Предположим, что энергия ветра и солнца дают в среднем 30% от всей вырабатываемой электроэнергии. Таким образом, 2,1 тыс. ГВт электроэнергии, получаемой за счет сжигания угля, при том что электростанции работают 90% времени, заменяются на 2,1 тыс. ГВт (в максимуме) энергии, получаемой от ветра или солнца, плюс 1,4 тыс. ГВт отсечивающей изменение нагрузки от электростанций на угле, в целом будет заменено 700 ГВт

⁸ Предположим, что речь идет об автомобилях с расходом с расходом 3,7 л горячего на 100 км и пробегом 16 тыс. км в год, а объем биомассы — 15 т на га, и использование ископаемого топлива ничтожно мало. Площадь пахотных земель мира составляет 1500 млн. га

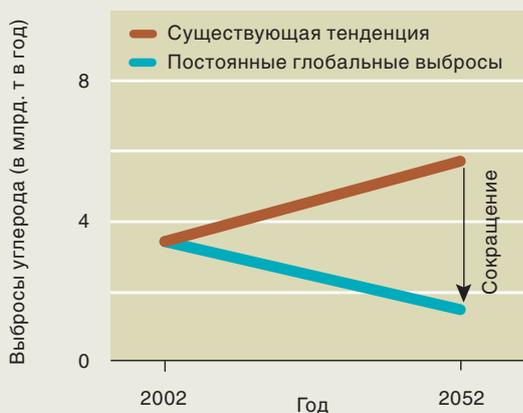
⁹ Выброс углерода в результате вырубки лесов составляет сегодня около 2 млрд. т в год. Предположим, что к 2056 г. он сократится наполовину, если экономика будет развиваться прежними темпами, и до нуля, если этот процесс прекратится

БОГАТЫЙ МИР, БЕДНЫЙ МИР

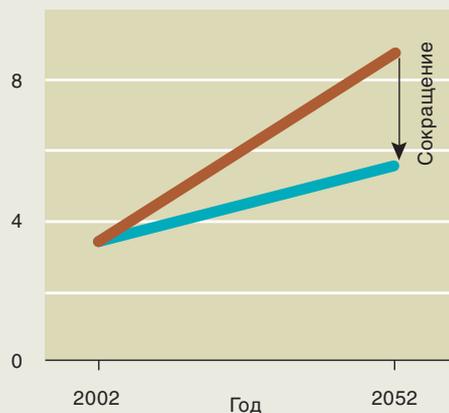
Чтобы не увеличивался глобальный выброс углерода, и индустриальным странам (членам Организации экономического сотрудничества и развития — ОЭСР), и развивающимся придется пойти по пути обоюдного сокращения. (показано стрелками на графике внизу)



Чтобы глобальный выброс не увеличивался, объем выброса стран-членов ОЭСР должен сократиться...



...что позволило бы странам, не являющимся членами ОЭСР, увеличивать выброс по мере своего экономического развития



уровне, нельзя допустить даже двукратного его увеличения в странах, не являющихся членами ОЭСР.

Возможно, развитым державам следует придерживаться намеченного Великобританией плана, о котором объявил в 2003 г. британский премьер-министр Тони Блэр: к 2050 г. сократить выброс на 60%

по сравнению с современным уровнем. Если бы и другие страны приняли подобное решение, тогда выброс углекислого газа, например, в США превышал бы средний мировой уровень только в 2 раза, а не в 5 раз, как сегодня. Америка могла бы достигнуть данной цели различными способами (стр. 27).

Стоит подчеркнуть, что стратегия декарбонизации не противоречит цели ликвидации крайней бедности в мире. Дополнительный выброс углерода в результате обеспечения ведущими странами мира беднейших областей на Земле электроэнергией и современным топливом может быть компенсирован

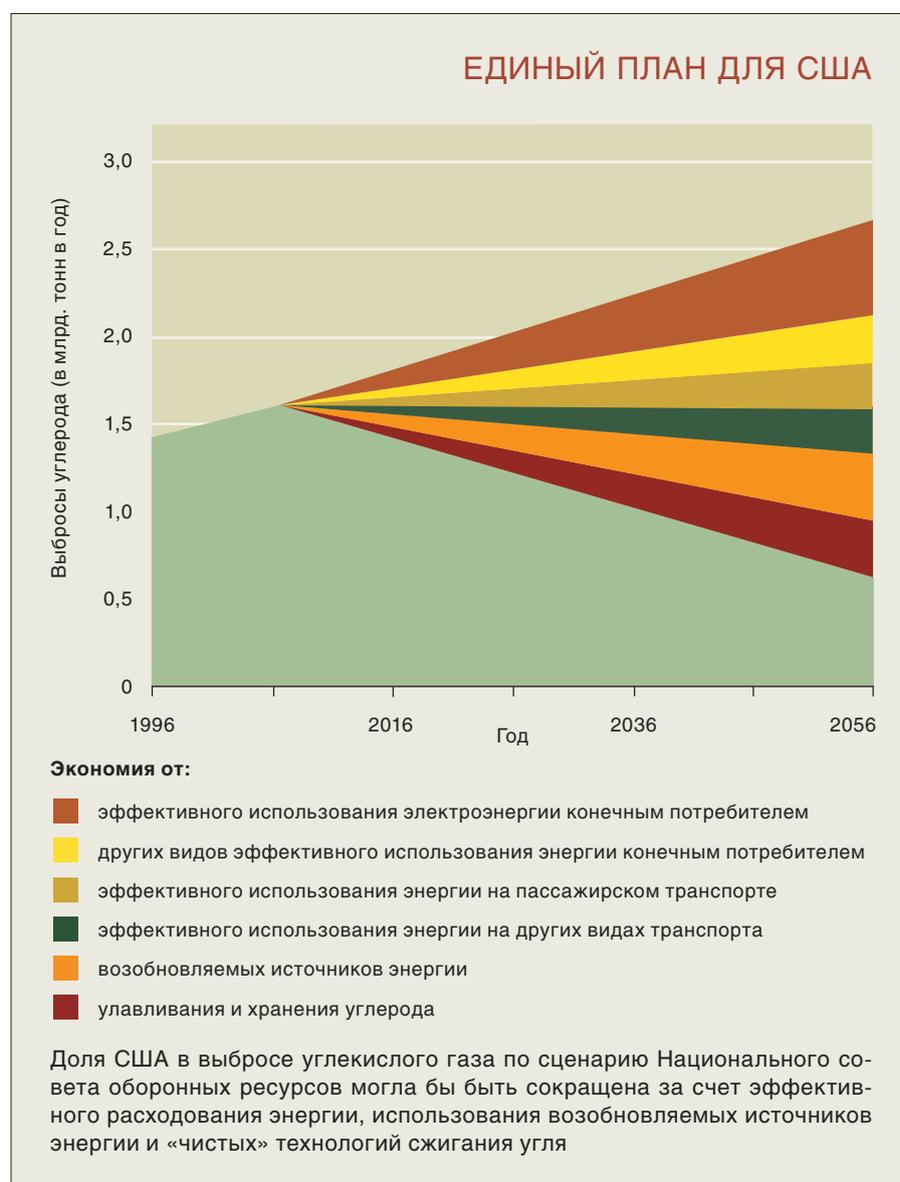
JEN CHRISTIANSEN. SOURCE: "GLOBAL, REGIONAL, AND NATIONAL FOSSIL FUEL CO₂ EMISSIONS," BY G. MARL AND T.A. BODEN AND R.J. ANDRES, IN TRENDS: A COMPENDIUM OF DATA ON GLOBAL CHANGE. CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER, OAKRIDGE NATIONAL LABORATORY, 2006

максимум одной пятой сектора сокращения выброса в благополучных районах планеты.

После 2056 года

Треугольник стабилизации рассчитан только на ближайшие 50 лет. Можно решать задачу поэтапно: сначала удержать глобальный выброс на нынешнем уровне, затем сократить его наполовину к 2106 г., что осуществимо при условии, что в соответствующие научные исследования и опытно-конструкторские разработки будут вкладываться средства уже начиная с сегодняшнего дня. Со временем новые технологии позволят удалять углекислый газ непосредственно из воздуха, хранить углерод в минералах, должное развитие получают ядерный синтез, производство водорода с помощью тепловых ядерных реакторов и искусственный фотосинтез. Здания и светильники, холодильники и автомобили, приборы и самолеты станут принципиально иными. Изменится также и способ их использования.

Энергетическая система, основанная на ископаемом топливе, останется прежней, однако, оснащенная современными средствами контроля и материалами, она будет чище. Производство энергии, топлива и тепла будет объединено в единый цикл; значительно сократится загрязнение воздуха и воды. Система улавливания и хранения углерода станет повсеместной. Помимо существующей, будет создана масштабная энергосистема, основанная не на ископаемых ресурсах, а на возобновляемых источниках,



использование ядерных технологий для создания вооружений. Благодаря вышеназванным мерам будет достигнут стабильный экономический рост, который обеспечит повышение благосостояния населе-

людей, которое научится дружно жить на нашей планете и заботиться о ее судьбе. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

■ Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies. S. Pacala and R. Sokolow in Science, Vol. 305, pages 968–972; August 13, 2004.

■ С подсчетами по отдельным секторам можно ознакомиться на сайте www.princeton.edu/~cmi

■ Статистические данные по энергоресурсам можно найти на сайтах www.iea.org и www.bp.com; данные о выбросе углерода можно также найти по адресу: cdiac.esd.ornl.gov

Судьба ядерной энергетики зависит в конечном счете от решения двух проблем: утилизации отходов и безопасности

что позволит оживить сельские районы и восстановить истощенные земли. Если роль атомной энергии будет по-прежнему велика, появятся международные механизмы, позволяющие предотвращать

ния Земли. Хочется надеяться, что нашим потомкам не придется расходовать столько средств, чтобы обезопасить себя от нежелательных климатических изменений. И тогда, возможно, вырастет поколение



Джон Хэйвуд

ГОРЮЧЕЕ будущее

Ежедневное использование нефти в мире. В настоящее время потребители используют 80 млн. баррелей нефти в день (один баррель содержит 42 американских галлона). 2/3 из них приходится на транспорт

53

млн. баррелей
в день для
транспорта
в целом

29

млн. баррелей
в день для
сухопутного
пассажирского
транспорта

19

млн. баррелей
в день для
сухопутного
грузового
транспорта

5

млн. баррелей
в день для
воздушного грузового
и пассажирского
транспорта

Как снизить
зависимость
мировой экономики
от нефти
и уменьшить
выбросы
загрязняющих
веществ,
производимые
автотранспортом?

Современному человеку, избалованному прогрессом, трудно отказаться от привычных благ, таких как легковая машина, которой подвластны любые дороги, или система автомобильных грузоперевозок, доставляющая необходимые товары в любой уголок земного шара. Как же совместить интересы общества потребления с необходимостью защиты окружающей среды?

Суть проблемы заключается в том, что количество транспорта неуклонно растет, а бензин и дизельное топливо расходуются в немыслимых масштабах. Содержащийся в них углерод окисляется при сгорании

и образует углекислый газ, попадающий в атмосферу и наносящий ей непоправимый ущерб. На долю автотранспорта приходится 25% всеобщего выброса парниковых газов. Стремительный рост всемирного парка машин ведет к увеличению спроса на горючее и утрате контроля над концентрацией в атмосфере вредоносных испарений. Сегодня в США автомобили сжигают 550 млрд. л бензина в год, что составляет около 5 л на человека в день. Если бы в других странах потребление горючего достигло такого же уровня, его мировой расход возрос бы почти в 10 раз.

Как же сделать транспорт безопасным для окружающей среды?

Варианты решений

В первую очередь следует уделить внимание усовершенствованию технологий, повышению эффективности эксплуатации транспортных средств, использованию альтернативных видов горючего и, наконец, уменьшению размеров автомобилей. Причем чтобы радикально изменить ситуацию, необходимо комплексное принятие всех перечисленных мер.

Надо сказать, что современная транспортная система имеет ряд особенностей. Во-первых, в индустриальных странах она постепенно развивалась на протяжении десятилетий в соответствии с требованиями экономики и запросами потребителей. Во-вторых, она полностью основана на одном источнике энергии — нефти, поэтому понадобятся десятилетия, чтобы ограничить, а затем уменьшить как локальные, так и глобальные последствия сжигания топлива.

Следует учитывать также, что показатели эффективности использования горючего могут вводить в заблуждение: реальное значение имеет только то, сколько его было истрачено для фактического перемещения. Сегодня КПД двигателя внутреннего сгорания составляет 20% в городском цикле и 35% при оптимальных условиях эксплуатации. Однако короткие поездки на холодном двигателе и при агрессивной

манере вождения значительно увеличивают расход горючего, так же, как и длительная работа на холостом ходу в дорожных пробках. Подобные факторы объективно снижают эффективность мотора, в результате до колес доходит только 10% химической энергии, заключенной в топливном баке. Эймори Лавинс (Amory Lovins), активный сторонник легких и экономичных машин, так объяснил схему работы современного транспорта: если в автомобиле, КПД которого составляет 10%, находятся водитель, пассажир и багаж, т.е. полезная нагрузка равна примерно 10% веса самой машины, ее «фактически движет только 1% энергии имеющегося горючего».

При подсчете энергозатрат необходимо учитывать весь цикл: производство бензина и его транспортировку к потребителю; эксплуатацию автомобиля; затраты на его конструирование, техническое обслуживание и утилизацию. Эти три фазы часто называют «от скважины до топливного бака». На последнюю стадию приходится примерно 15% энергии, используемой машиной за весь срок ее эксплуатации, при этом выбрасывается примерно 15% парникового газа. На путь от топливного бака до колес идет 75%, и от конвейера до свалки — 10%. Производство самого горючего и техники также требует значительных энергозатрат.

Существенной экономии можно добиться путем усовершенствования технологии создания транспортных средств. Вкладывая средства в повышение эффективности мотора и трансмиссии, уменьшая ▶

ОБ АВТОРЕ:

Джон Хэйвуд (John B. Heywood) — директор Слоунской автомобильной лаборатории при Массачусетском технологическом институте, член Национальной академии машиностроения и Американской академии искусств и наук. Им написан широко известный учебник «Основы: о двигателях внутреннего сгорания» (*McGraw-Hill*, 1988).

ШКАЛА ВРЕМЕНИ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Благодаря новым конструкциям автомобилей, возможно, удастся уменьшить потребление энергии транспортом США. Оценки Лаборатории энергетики и окружающей среды при Массачусетском технологическом институте дают представление о том, сколько времени может понадобиться, чтобы внедрение новых технологий стало заметным

| ТЕХНОЛОГИЯ | ЭТАП РЕАЛИЗАЦИИ | | | |
|--|--------------------------------|------------------------------------|---|----------------------------------|
| | Конкурентоспособный автомобиль | Внедрение в массовое производство* | Крупномасштабное проникновение в парк машин** | Общее время для оказания влияния |
| Турбокомпрессор на бензине | 5 лет | 10 лет | 10 лет | 20 лет |
| Дизельное топливо с низким выбросом углерода | 5 лет | 15 лет | 10–15 лет | 30 лет |
| Гибридный вариант на бензине | 5 лет | 20 лет | 10–15 лет | 35 лет |
| Гибридный топливный элемент на водороде | 15 лет | 25 лет | 20 лет | 55 лет |

* Производство более трети новых автомобилей ** Более трети пройденного расстояния

вес, улучшая качество шин и оптимизируя тормозные характеристики, за 20 лет можно на 1/3 сократить потребление горючего, что в среднем составит 1–2% в год. В последние 25 лет спросом пользовались крупные, тяжелые и быстрые автомобили, что отнюдь не способствовало стабилизации экологической ситуации. Эта тенденция характерна сегодня не только для США, где она наиболее очевидна, но и для других стран. Чтобы ограничить выбросы парниковых газов, необходимо убедить покупателей приобретать автомобили с низким потреблением горючего.

Если средства передвижения станут легче и меньше, сохранив высокие технические характеристики, то в ближайшие 10–15 лет объемы потребления топлива могут снизиться на 20%, что позволит изменить существующую ситуацию, при

которой потребление нефти растет примерно на 2% в год.

В долгосрочной перспективе будут разрабатываться альтернативные виды горючего, способные хотя бы частично заменить нефть, а также осуществится переход на использование новых силовых установок, потребляющих водород или электроэнергию. Однако повсеместное внедрение экологического горючего возможно лишь при наличии соответствующей системы его доставки от производителей к потребителям. Сейчас используются такие виды топлива, как жидкости с высокой энергоемкостью. Для более экономичного горючего потребуются топливные баки большего размера, в противном случае пробег автомобилей снизится и будет составлять около 644 км. Теоретически для получения топлива могут быть использованы нефтеносные пески,

тяжелая нефть, горючий сланец, уголь. Однако их обработка в свою очередь требует больших энергозатрат, что приведет к выделению значительного количества парникового газа. Кроме того, такая технология требует крупных капиталовложений. Тем не менее, несмотря на угрозу для окружающей среды, нетрадиционные источники нефти уже начинают использоваться. Ожидается, что в следующие 20 лет они будут поставлять примерно 10% «питания» для транспорта.

Все более широкое распространение получает топливо из биомассы — этиловый спирт и биодизель, — которые, как полагают, дают меньший выброс углекислого газа на единицу энергии. В Бразилии этиловый спирт, произведенный из сахарного тростника, составляет около 40% горючего для автомобилей. В США примерно 20% урожая кукурузы перерабатывается в этиловый спирт, который смешивается с бензином в пропорции 1:9 для получения так называемого реформулированного (более чистого) бензина. В соответствии с недавно принятым в США законом о национальной политике в области энергетики планируется к 2012 г. удвоить производство этилового спирта (сейчас он составляет 2% от общего

ОБЗОР

- В результате использования транспортного горючего на основе нефти в атмосферу попадает 25% совокупного мирового выброса углекислого газа.
- Для уменьшения вредных выхлопов необходимо усовершенствование технологий производства машин, уменьшение их габаритов, переход на альтернативные виды горючего.
- Чтобы добиться успеха, требуется комплексный подход.

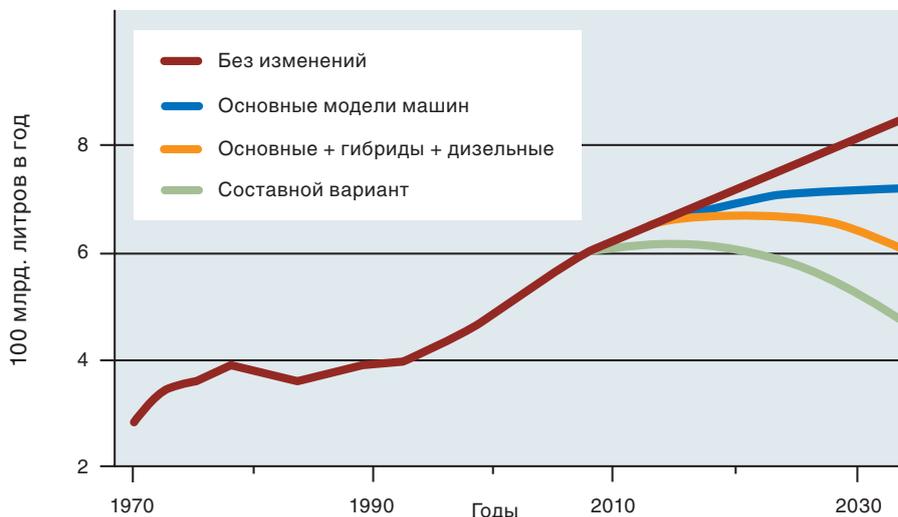
объема потребления топлива). Однако необходимо также уменьшить количество удобрений, воды, природного газа и электроэнергии, используемых при производстве этилового спирта из кукурузы. Более эффективно получать его из целлюлозной биомассы (стерни и отходов растений, не используемых в качестве корма для животных). Биодизельное горючее может производиться как из продуктов растительного происхождения (масел рапсового семени, подсолнечника и сои), так и из отходов животного жира. Поскольку подобное горючее производится в небольших объемах, для практического применения его смешивают с обычным дизельным топливом. Что касается природного газа, то масштабы его использования на транспорте колеблются в различных странах от 1% до 10–15%.

В новых силовых установках будут использованы усовершенствованные двигатели внутреннего сгорания (с турбокомпрессором и прямым впрыском горючего), дизельные двигатели с катализаторами в системе выхлопа. По дорогам уже ездят гибридные машины, оснащенные небольшим бензиновым двигателем и электромотором, питающимся от батарей. Такие автомобили потребляют значительно меньше горючего в городском цикле, но на автомагистралях не имеют существенных преимуществ, между тем их стоимость на несколько тысяч долларов выше.

Исследователи изучают возможность производства новых видов силовых установок и горючего с небольшим выбросом углекислого газа. Разрабатываются автомобили с топливными элементами на водороде, батарей и электромотором. Такие системы могут увеличить КПД транспортных средств вдвое, однако преимущество сводится на нет энергозатратами и выбросами углекислого газа при производстве и доставке водорода потребителю.

Альтернативный водороду источник энергии — электричество. Его применение на транспорте возможно, однако перезарядка батареи

ПОТРЕБЛЕНИЕ БЕНЗИНА В США



Четыре сценария дают представление о том, как будет использоваться бензин в следующей четверти века. Графа «Без изменений» предполагает, что потребление горючего на одну машину будет стабильно оставаться на уровне 2008 г. Понятие «Основные модели» подразумевает машины с эволюционными усовершенствованиями технологии, а «Основные модели+гибридные машины+автомобили на дизельном топливе» предусматривают постепенное добавление гибридов, использующих бензин вместе с электроэнергией, а также дизельное топливо. Графа «Составной вариант» добавляет замедление темпов продаж транспортных средств и пробег

занимает много времени. Оснащение модульного гибридного автомобиля небольшим двигателем для перезарядки батареи позволит увеличить пробег и использовать преимущественно электроэнергию и только частично — топливо для мотора.

Стимулируя перемены

Совершенствование технологий, несомненно, повысит эффективность использования горючего. Повышение цен на бензин изменит и спрос на него. Однако рыночные факторы едва ли сдержат увеличивающуюся потребность в нефти. Чтобы сократить использование углеродосодержащего горючего, необходима

комплексная финансовая и правовая база. Эффективная политика могла бы включать систему налогов и скидок, предполагающую, что, приобретая мощное и «прожорливое» транспортное средство, покупатель платит дороже, выбирая же небольшой экономичный автомобиль, получает бонус. Кроме того, необходимо стимулировать производителей, которые выпускают автомобили, расходующие меньше горючего. Налоговые стимулы также могут способствовать внедрению передовых технологий в автомобилестроении. Возможно, тогда мы сможем двигаться вперед, решая все проблемы в комплексе. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Reducing Gasoline Consumption: Three Policy Options.
- Congressional Budget Office, November 2002. Доступен по адресу: [www.cbo.gov/ftpdocs/39xx/doc3991/11-21-Gasoline Study. pdf](http://www.cbo.gov/ftpdocs/39xx/doc3991/11-21-Gasoline%20Study.pdf)
- Reducing Greenhouse Gas Emissions from U.S. Transportation.
- David L. Greene and Andreas Schafer. Pew Center on Global Climate Change, May 2003. Имеется по адресу: www.pewclimate.org/docUploads/ustransp.pdf
- Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability. World Business Council for Sustainable Development, 2004. www.wbcscd.org/web/publications/mobility/mobility-full.pdf
- DOE FreedomCAR and Vehicle Technologies Program's Fact of the Week. www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/facts/2006_index.html

БАШНЯ СВИСС РЕ Лондон, Англия

- Потребляет на 50% меньше энергии, чем обычные офисные здания
- Системы естественной вентиляции и естественного освещения
- Пассивное солнечное отопление
- Построена из легко утилизируемых материалов

MENARA MESINIAGA

Субанг Джая, Малайзия

- Внешние жалюзи дают тень на солнечной стороне здания
- Незатеняемые окна на теневой стороне улучшают естественное освещение
- Естественная вентиляция
- На крыше высажены растения, уменьшающие солнечный нагрев

EDIFICIO MALECON

Буэнос Айрес, Аргентина

- Длинная узкая конструкция уменьшает солнечный нагрев
- Лестничные клетки с естественной вентиляцией
- Открытый нижний этаж и управляемые окна позволяют использовать бриз с близлежащей реки

ЖИЛОЙ ДОМ Иерусалим, Израиль

- Солнечные батареи и солнечные котлы

Эберхард Йохем

ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ

Энергосбережение — самый быстрый и дешевый путь сокращения выбросов CO_2 в атмосферу

Колоссальный потенциал энергосберегающих технологий для сокращения выбросов парниковых газов пользуется гораздо меньшей популярностью и вниманием общественности, чем шумно обсуждаемые альтернативы использования атомных реакторов, водородного топлива и возобновляемых источников энергии. Однако самый быстрый и дешевый способ уменьшения концентрации двуокиси углерода в атмосфере — именно повышение эффективности использования энергии. Как показывает практика, такой подход может быть на удивление успешным и даже прибыльным.

С 2001 по 2005 гг. немецкий завод компании *Procter & Gamble* увеличил выпуск продукции на 45%, хотя потребление энергии на производственные и хозяйственные нужды за тот же период выросло всего на 12%, а выброс CO_2 в атмосферу остался на уровне 2001 г. Столь впечатляющие результаты были достигнуты за счет использования высокоэффективного режима освещения, получения сжатого воздуха, применения новых систем отопления и кондиционирования воздуха, использования тепла, выделяемого компрессорами, для обогрева зданий и контроля над потреблением и оплатой энергии.

МИРОВАЯ ШТАБ-КВАРТИРА ABN-AMRO

Амстердам, Нидерланды

- Автоматические жалюзи
- Система регенерации тепла
- Цифровые регуляторы климата и светильники, автоматически подстраивающиеся под изменения освещенности и заполненности помещения людьми

SZENCORP BUILDING Мельбурн, Австралия

- Система управления влажностью автоматически осушает и охлаждает офисные помещения
- Керамические топливные элементы поставляют электроэнергию и тепло для получения горячей воды
- Потребление энергии на 70% меньше, чем в обычных офисах

ШТАБ-КВАРТИРА GENZYME CORPORATION Кембридж, шт. Массачусеттс

- Вентилируемые двойные фасады блокируют солнечное тепло летом и удерживают его зимой
- Системы центрального отопления и охлаждения питаются паром от соседней электростанции
- Потребляет на 32% меньше воды, чем аналогичные офисные здания
- Использовались легко утилизируемые строительные материалы с малым выделением вредных веществ

ЖИЛОЙ ДОМ

Гамбург, Германия

- Солнечный коллектор на крыше

Примерно в 4 тыс. жилых и административных зданий в Германии, Швейцарии, Австрии и скандинавских странах расход энергии на отопление удалось сократить в 6 раз благодаря улучшению теплоизоляции, применению герметичных окон и использованию энергосберегающих конструкций.

Повышения эффективности можно добиться во всей энергетической цепочке — от преобразования первичной энергии (например, выделяющейся при сгорании нефти) в электрическую и передачи ее к потребителю до преобразования в полезную мощность (например, расходуемую на нагрев тостера). Мировой спрос на первичную энергию составляет 447 тыс. ПДж в год (1 ПДж ~ 300 ГВт·ч), и 80% его удовлетворяется за счет энергии ископаемого топлива — угля, нефти и газа. После преобразования энергии первичных источников получается примерно 300 тыс. ПДж так называемой конечной энергии в виде

электричества, бензина, реактивного топлива и т.д.

Преобразование электроэнергии, энергии бензина и т.п. в полезную энергию в двигателях, котлах и электрических лампах сопровождается потерей еще 154 тыс. ПДж. Итого на двух этапах преобразования энергии теряется около 300 тыс. ПДж, т.е. две трети первичной энергии. В конечном итоге вся используемая энергия превращается в тепло. Улучшение теплоизоляции зданий, совершенствование технологических процессов и внедрение легких автомобилей с лучшими аэродинамическими характеристиками (см. в этом номере: *Хэйвуд Д. Горючее будущего*) могло бы привести к снижению спроса на полезную энергию и, соответственно, к существенному сокращению ее потерь.

Принимая во внимание проблему изменения климата и ожидаемый рост цен на энергию, потери в энергетической цепочке нужно рассматривать как возможность

повышения ее эффективности. На смену интенсивному использованию энергии и материалов должны прийти новые технологии. ▶

ОБ АВТОРЕ

Эберхард Йохем (Eberhard K. Jochem) — профессор экономики швейцарского Федерального технологического института (ETH), директор Центра энергетической политики и экономики. Получив образование инженера-химика и экономиста в технических университетах Ахена и Мюнхена, в 1971 и 1972 гг. он был стипендиатом Гарвардской школы здравоохранения, а после занялся исследованием эффективности использования энергии и материалов во Фраунгоферовском институте исследования систем и инноваций. Йохем входит в состав редакционных комиссий нескольких научных журналов и издания *Encyclopedia of Energy*, а также является членом Швейцарской академии технических наук.

Перспективы развития

Новые энергосберегающие технологии позволяют существенно снизить потребление энергии и, следовательно, уменьшить выбросы двуокиси углерода в атмосферу. Особое внимание следует обратить на экономию в жилых домах и других зданиях, энергосистемы которых во многих странах отличаются крайне низкой эффективностью. В странах ОЭСР и крупных мегаполисах развивающихся государств на здания приходится третья часть энергетической составляющей общего выброса парниковых газов.

Об уже достигнутых успехах говорят мало, поскольку обычно они связаны с улучшениями, незаметными для потребителя. После энергетического кризиса 1970-х гг. конструкции американских кондиционеров были изменены таким образом, чтобы снизить потребление энергии без существенного уменьшения охлаждающей способности, а новые строительные правила США требуют улучшения теплоизоляции и применения окон с двойными стеклопакетами. Новые холодильники потребляют вчетверо меньше энергии, чем старые. (Поскольку в США около 150 млн. холодильников и морозильников, повышение их эффективности за период с 1974 по 2001 гг. привело к экономии энергии, эквивалентной уменьшению мощности электростанций на 40 ГВт.) Переход на компактные люминесцентные лампы позволил резко сократить расходы на освещение: при равной интенсивности света их мощность в 4–5 раз меньше, а срок эксплуатации в 10 раз дольше, чем у простых ламп накаливания.

Но главные шаги еще только предстоит сделать. Многие здания по-прежнему проектируются с акцентом на снижение стоимости строительства, а не на минимизацию общих затрат в течение всего срока службы. Необходимостью экономить энергию нередко просто пренебрегают. Например, в жарких странах ради удешевления строительства крыши домов в последнее время стали делать без свесов, которые ранее традиционно применялись в условиях тропического климата и позволяли существенно уменьшить нагрев стен и окон. Один из крупнейших европейских изготовителей готовых домов сегодня предлагает коттеджи с нулевым потреблением энергии: их хорошая теплоизоляция в сочетании с разумной спроектированностью, коллекторами тепловой энергии Солнца и солнечными батареями позволяет обойтись без потребления электричества из централизованной сети. При этом по стоимости они мало отличаются от новых домов, построенных с соблюдением современных строительных норм. Поскольку здания служат 50–100 лет, необходимо оснащать новыми системами и уже построенные дома, разумеется, не допуская замены лишь какого-то одного элемента. Например, большая часть тепла от новой отопительной печи может теряться впустую, если оставить в доме проницаемые воздуховоды и окна с одинарными стеклами.

Что можно сделать в промышленности, показывает такой пример: в то время, как одни производители ковров до сих пор окрашивают их при 100–140 °С, другие проводят окрашивание при комнатной

температуре, используя энзимную технологию, что позволяет снизить потребление энергии на 90%.

Важность политики

Необходимость жесткой энергетической политики государства обусловлена недостаточной осведомленностью производителей и общества о возможных способах экономии энергии, финансированием без учета преимуществ долгосрочных инвестиций и такими недостатками рынка, как внешние затраты на выбросы CO₂. Правительство обычно недооценивает важность энергосбережения. Разумеется, необходимо принимать во внимание и рост цен на энергию, и появление новых технологий, и ценовую конкуренцию. Но никакие изменения немыслимы без вмешательства политики, влияющей на налогообложение, финансовые стимулы, профессиональное обучение, законодательство в сфере охраны окружающей среды, торговлю квотами на вредные выбросы и международную координацию ее нормативов. Более того, быстрый рост спроса на энергию в развивающихся странах открывает возможность проведения правильной политики с самого начала развития энергетической инфраструктуры: программы реализации эффективных решений в строительстве, транспортных системах и промышленности позволяют предоставлять людям нужные энергетические услуги, хотя при этом будет построено меньше электростанций, нефтеперерабатывающих заводов и газопроводов.

Для Японии и стран Евросоюза сокращение импорта нефти важнее, чем для США, поэтому перечисленные государства активнее поощряют повышение производительности с помощью налогов на энергию и других мер. Однако из всех стран ОЭСР только Япония смогла обновить стандарты на бытовую электротехнику. В счетах за газ и электричество в странах ОЭСР не отражается, сколько энергии затрачивается на отопление, сколько — на горячую воду и т.п. Поэтому

ОБЗОР

- Основная часть используемой человеком энергии вырабатывается при сжигании ископаемого топлива с выделением CO₂. В конечном итоге используется всего 1/3 полученной энергии.
- Самый быстрый и простой способ сокращения выбросов CO₂ в атмосферу состоит в максимально возможном уменьшении потерь энергии.
- Повышение энергетической эффективности зданий, КПД бытовых приборов и промышленного оборудования позволяет достичь впечатляющей экономии.

СТЕНЫ

- Толстый слой целлюлозной теплоизоляции уменьшает потери тепла зимой и нагрев летом

ОКНА

- Двойные стеклопакеты, заполненные теплоизолирующим газом, уменьшают поток тепла более чем на 50%
- Уплотнитель из силиконового пенопласта

КОМПАКТНЫЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ЛАМПЫ

- Потребляют в 4–5 раз меньше электроэнергии, чем лампы накаливания
- Датчики присутствия людей автоматически отключают освещение, когда в помещении никого нет

КОМПЬЮТЕР

- ЖК-монитор потребляет на 60% меньше энергии, чем обычный ЭЛТ-монитор
- Выделяет меньше тепла
- Изготавливается из утилизируемых материалов

ПОСУДОМОЕЧНАЯ МАШИНА

- Вспомогательный нагреватель подогревает воду до нужной температуры, что позволяет понизить температуру воды в системе горячего водоснабжения
- Потребляет примерно вдвое меньше воды, чем требуется при ручной мытье посуды

ХОЛОДИЛЬНИК

- Современные холодильники потребляют вчетверо меньше электроэнергии, чем модели 1974 г.
- Старые холодильники обычно сдают в утиль, а не ставят в гараж для хранения дополнительных продуктов, что позволяет полностью использовать преимущества новых энергосберегающих моделей

ПЛИТА

- В кухонном оборудовании еще многое предстоит усовершенствовать: при использовании обычной плиты пище передается лишь 25% выделяемого тепла
- Конвекционные духовки позволяют сэкономить 20% электроэнергии

трудно определить, на какие нужды используется больше всего энергии, и где уменьшение ее потребления приведет к наибольшей экономии. В промышленности затраты на получение сжатого воздуха, отопление, охлаждение и электроэнергию часто не включаются в счета технологических линий, а относятся к накладным расходам.

И все же в Европе и Японии энергосбережению уделяют больше внимания, чем в США. Наглядным примером может служить модернизация жилищ в Людвигсхафене (Германия). Пять лет назад 500 жилых домов в городе были переоборудованы в соответствии с новым стандартом на потребление энергии (около 30 кВт/ч/м² в год), что уменьшило потребность в энергии на их отопление в 6 раз. До модернизации сдавать жилье внаем было трудно, а после нее спрос втрое превысил предложение.

В Швейцарии Правление федеральных технологических институтов предложило проект так называемого «двухкиловаттного общества» с потреблением первичной энергии не более 2 кВт на душу населения (65 ГДж на человека в год). Реализация этой программы привела бы к уменьшению потребления энергии на душу населения и, соответственно, выбросов CO₂ в атмосферу на две трети, несмотря на увеличение ВВП в ближайшие 60–80 лет на 65%. Швейцарские ученые пришли к выводу, что в развитых странах переход к «двухкиловаттному обществу» технически можно осуществить уже во второй половине текущего столетия.

Некоторые люди полагают, что экономия энергии означает снижение уровня комфорта. Однако концепция эффективного энергосбережения подразумевает, что при меньших затратах энергии люди будут получать те же самые услуги

(например, комфортабельное жилье или удобный проезд от дома до работы). Япония и страны ЕС уже принимают решительные меры по экономии энергии. Но чтобы избежать роста ее стоимости и воспрепятствовать драматическим изменениям климата, политику энергосбережения нужно сделать всемирной. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Energy End-Use Efficiency. Eberhard Jochem in World Energy Assessment 2000, Chapter 6. UNDP/WEC/UNDESA, 2000.
- Steps towards a Sustainable Development: A White Book for R&D of Energy-Efficient Technologies. Edited by Eberhard Jochem. CEPE and Novatlantis, March 2004. www.cepe.ethz.ch
- Experience with Energy Efficiency Policies and Programmes in IEA Countries. Howard Geller and Sophie Attali. International Energy Agency, 2005.



В результате сжигания угля в атмосферу ежегодно выбрасывается около 10 млрд. тонн CO_2

Дэниел Лашоф, Роберт Уильямс и Дэвид Хокинс

ЧТО ДЕЛАТЬ С УГЛЕМ?

Предполагается, что в обозримом будущем тепловые электростанции будут работать на каменном угле. Он дешев, запасы его огромны, однако не стоит забывать о темной стороне «черного золота»

Изменения климата гораздо больше зависят от работы угольных электростанций, чем кажется большинству людей. Если человечество не примет срочные меры по жесткому ограничению выбросов углекислого газа (CO_2) при сжигании каменного угля для получения электроэнергии, то остановить глобальное потепление не удастся.

Каменный уголь стал топливом промышленной революции, но использование его в качестве источника энергии создает серьезные проблемы. Дело отчасти в том, что при сжигании угля в атмосферу выбрасывается значительно больше CO_2 на единицу полученной электроэнергии, чем при сжигании нефти

или природного газа. Однако уголь дешев, и его запасов хватит надолго, даже когда запасы нефти и природного газа будут истощены. Вследствие дешевизны и изобилия каменного угля его использование в США и других странах бурно растет и, по прогнозам, будет расти и дальше, особенно в регионах, богатых этим ископаемым топливом. Ожидается, что в период с 2003 по 2030 гг. в США будут построены угольные электростанции суммарной мощностью 280,5 ГВт. Между тем Китай строит в среднем по одной большой электростанции каждую неделю. За время эксплуатации, составляющее около 60 лет, новые угольные электростанции, которые будут работать в 2030 г., выбросят в атмосферу столько же CO_2 , сколько было выделено при сжигании угля с начала промышленной революции.

Растущая популярность каменного угля тревожит не только тех, кого заботит изменение климата, но и тех, кто озабочен влиянием изменений окружающей среды на здоровье и безопасность людей. Рыночная стоимость угля может быть невысокой, но истинная цена его добычи, обогащения и потребления высока. Сжигание угля может привести к целому ряду неблагоприятных последствий, включая таяние высокогорных ледников, загрязнение воздуха токсичными выбросами, а вод — отходами сжигания угля. Добыча угля также сопряжена с опасностью и нередко сопровождается гибелью шахтеров.

В результате добыча угля и превращение его в электроэнергию становится одним из самых разрушительных видов человеческой деятельности (см. стр. 41).

Захоронение в недрах

Совокупность методов, которые можно использовать в энергетике для предотвращения попадания CO_2 в атмосферу, называют улавливанием и удержанием CO_2 (*CO₂ capture and storage, CCS*) или геологическим секвестром углерода. CCS включает в себя отделение большей части углекислого газа, образующегося в ходе преобразования угля в полезную энергию, и транспортировку CO_2 в места, где его можно хранить глубоко под землей в пористых средах, в основном в истощенных месторождениях нефти и газа или в проницаемых геологических пластах, насыщенных соленой водой (см.: Соколов Р. Похороны глобального потепления // ВМН, № 10, 2005).

Все технологические компоненты, необходимые для осуществления CCS на угольных электростанциях, производятся промышленностью и уже оправдали себя в приложениях, не связанных с борьбой за уменьшение климатических изменений, однако законченных систем необходимого масштаба пока не создано. Технологии улавливания CO_2 широко внедряются в химической промышленности, например, в производстве удобрений. Большой опыт удержания CO_2 накоплен на предприятиях по очистке природного

газа (в основном, в Канаде) и при использовании его для увеличения добычи нефти (в основном, в США). В старые нефтяные месторождения ежегодно закачивается около 35 млн. тонн CO_2 , благодаря чему извлекается около 4% нефти, добываемой в США.

Для удержания концентрации CO_2 в атмосфере на допустимом уровне использование CCS-технологий на угольных электростанциях совершенно необходимо. Рамочная конвенция по изменению климата от 1992 г. ООН призвала к обеспечению стабилизации концентрации CO_2 на безопасном уровне, однако не указала, каким он должен быть. Сегодня многие ученые считают, что

и использование возобновляемых источников энергии.

По оценке Межправительственной группы по изменению климата (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*), опубликованной в 2005 г., вполне вероятно, что геологические среды всего мира способны удержать не менее 2 трлн. тонн CO_2 — больше, чем смогут выделить в XXI в. все электростанции мира, работающие на ископаемом топливе. Однако общество хочет быть уверенным, что потенциальные подземные хранилища будут тщательно исследоваться на способность удержания CO_2 . Рассматривать следует два вида рисков: внезапный выброс и медленное просачивание.

Экономически приемлемые методы сокращения выбросов CO_2 в атмосферу уже разработаны, однако пока никто не торопится внедрять их на практике

для предотвращения катастрофических изменений климата объемную концентрацию CO_2 в атмосфере необходимо поддерживать на уровне ниже $4,5 \cdot 10^{-4}$. Для достижения этой цели энергетика должна уже в ближайшие 5 лет начать разработку CCS-проектов промышленного масштаба и в дальнейшем активно внедрять их. Хотя одно только применение CCS-технологий не сможет обеспечить стабилизацию уровня CO_2 в атмосфере, ее, возможно, удастся достичь, сочетая их с другими мерами, включая интенсивное внедрение энергосберегающих технологий

Внезапный выброс большого количества CO_2 может быть губельным для тех, кто окажется поблизости. В 1986 г. вблизи озера Ниос в Камеруне от выброшенного вулканического углекислого газа задохнулись около 1,7 тыс. жителей окрестных деревень и тысячи голов скота. Поэтому, согласно требованиям IPCC, для технического захоронения тщательно выбираются глубокие пористые геологические формации.

Медленное просачивание CO_2 из подземных хранилищ в воздух также таит в себе угрозу, поскольку со временем оно может привести

к превышению допустимого предела концентрации углекислого газа в атмосфере. Согласно отчету IPCC за 2005 г., утечка из правильно выбранных и правильно эксплуатируемых подземных хранилищ составит не более 1% за сто или даже за тысячу лет. Остается доказать, что операторы хранилищ способны обеспечить уровень утечек CO_2 , исключая угрозу природе и здоровью людей.

Технологические варианты

Предварительные исследования показывают, что существующие технологии получения электроэнергии позволяют улавливать 85–95% CO_2 , выделяющегося при сжигании угля; остальная часть будет поступать в атмосферу.

Преобладающими должны стать такие технологии сжигания угля, которые будут отвечать требованию уменьшения изменений климата при минимальных затратах. Применительно к электростанциям с обычным циклом сжигания пылевидного угля и электростанциям с более современным комбинированным циклом с внутренней газификацией (*integrated gasification combined cycle, IGCC*) будут рассматриваться два принципиально разных подхода. Хотя сегодня в цикле IGCC (с выбросом CO_2 в атмосферу) получается несколько более дорогая энергия, чем в традиционном, он является наиболее эффективной и наименее дорогой возможностью применения технологий CCS.

На обычных электростанциях уголь сжигается в топках котлов при атмосферном давлении. Выделяющееся при этом тепло используется для получения водяного пара, энергия которого преобразуется турбогенераторами в электричество. На современных электростанциях продукты сгорания угля (топочные газы) перед выпуском в атмосферу пропускаются через устройства, улавливающие твердые частицы и оксиды серы и азота.

Углекислый газ можно извлекать из топочных газов после отделения от них обычных загрязнителей. ▶

ОБЗОР

- Ради получения электроэнергии в мире сжигается огромное количество каменного угля, но при этом образуются колоссальные объемы углекислого газа, вызывающего изменение климата.
- Новые электростанции с внутренней газификацией угля позволяют улавливать CO_2 и закачивать его в безопасные подземные хранилища эффективнее и дешевле, чем традиционные электростанции с прямым сжиганием угля.
- Чтобы остановить глобальное потепление, необходимо как можно скорее приступить к внедрению технологий улавливания CO_2 .

ИЗВЛЕЧЕНИЕ И УДЕРЖАНИЕ CO₂

Для замедления климатических изменений производители электроэнергии должны строить станции с комбинированным циклом с внутренней газификацией угля (IGCC) и системами улавливания и удержания CO₂ (CCS). На обычной электростанции уголь сжигается в топках паровых котлов для получения пара, который вращает турбогенераторы. В случае применения систем CCS на таких станциях CO₂ придется улавливать из топочных газов. В то же время на IGCC-станциях используется реакция частичного окисления угля в условиях недостатка кислорода для получения так называемого синтез-газа, состоящего в основном из CO и водорода. Извлекать CO₂ из него гораздо проще и дешевле, чем из топочных газов обычных электростанций. После извлечения CO₂ богатый водородом синтез-газ сжигается для приведения в действие турбогенераторов с паровыми и газовыми турбинами. Сейчас разрабатывается проект первой в мире коммерческой IGCC-электростанции с подземным захоронением CO₂, которая должна быть построена в Лонг-Бич, штат Калифорния.

ГАЗИФИКАЦИЯ

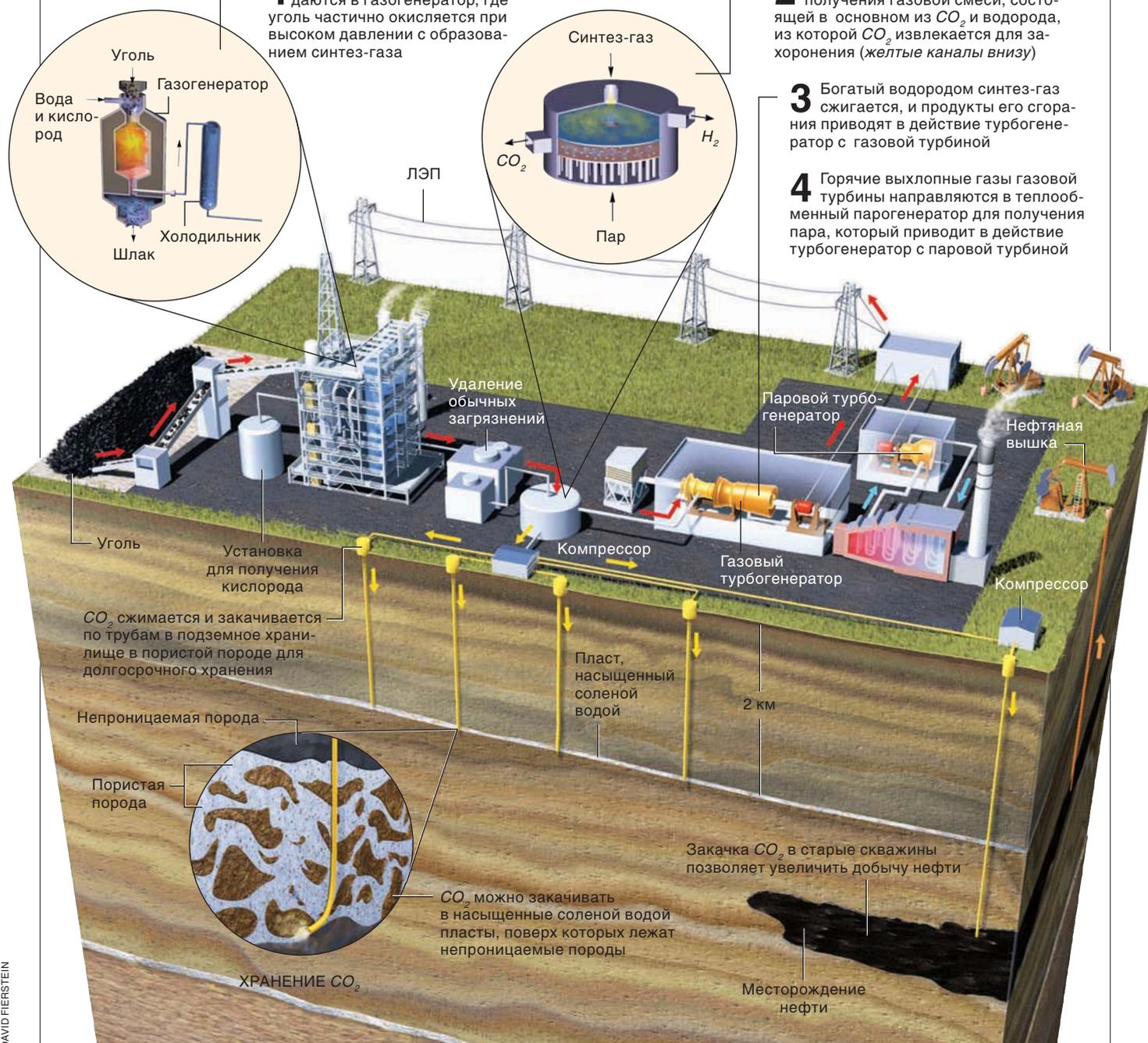
1 Уголь, вода и кислород подаются в газогенератор, где уголь частично окисляется при высоком давлении с образованием синтез-газа

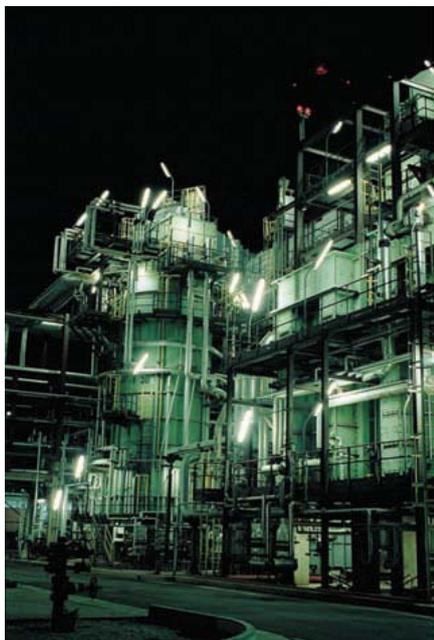
ИЗВЛЕЧЕНИЕ CO₂

2 Реакция синтез-газа с паром для получения газовой смеси, состоящей в основном из CO₂ и водорода, из которой CO₂ извлекается для захоронения (желтые каналы внизу)

3 Богатый водородом синтез-газ сжигается, и продукты его сгорания приводят в действие турбогенератор с газовой турбиной

4 Горячие выхлопные газы газовой турбины направляются в теплообменный парогенератор для получения пара, который приводит в действие турбогенератор с паровой турбиной





Промышленная IGCC-электростанция в Италии. Такие станции действуют с 1994 г., а их суммарная мощность достигла 3,6 ГВт

Так как топочные газы содержат много азота (уголь сжигается в воздухе, который на 80% состоит из азота), CO_2 приходится извлекать при невысоких концентрациях и температурах из больших объемов газа — а это энергоемкий и дорогой процесс. Отделенный CO_2 затем сжимают и транспортируют в места захоронения по трубам.

В IGCC-системах уголь не сжигается, а частично окисляется в газогенераторе в ходе реакции с водяным паром при высоком давлении в условиях недостатка кислорода (получаемого в специальных установках из воздуха). В результате образуется

так называемый синтез-газ, не разбавленный азотом и в основном состоящий из CO и водорода. В современных IGCC-установках из синтез-газа удаляют большинство обычных загрязнителей и затем сжигают его в газовых турбинах, выхлопные газы которых используют для получения пара, приводящего в действие паровые турбины. Весь процесс называется комбинированным циклом.

На IGCC-электростанциях, где предусматривается улавливание CO_2 , синтез-газ, выходящий из газогенератора, после охлаждения и очистки от твердых частиц реагирует с водяным паром, в результате чего получается газовая смесь, состоящая в основном из CO_2 и водорода. Двуокись углерода отделяется от нее, осушается, сжимается и транспортируется к месту захоронения. Оставшаяся смесь, богатая водородом, сжигается для получения электроэнергии (см. стр. 39).

Анализ показывает, что улавливание CO_2 на IGCC-электростанциях, потребляющих высококачественный битуминозный уголь, требует значительно меньших энергетических и финансовых затрат, так что в итоге стоимость получаемой электроэнергии будет меньше, чем на электростанциях с обычным циклом и улавливанием CO_2 . В IGCC-системах CO_2 извлекается из газового потока при высоких концентрациях и давлениях, что сильно упрощает процесс по сравнению с традиционными паровыми

электростанциями. (В отношении полубитуминозных углей низкого качества и лигнитов преимущества IGCC-цикла не столь очевидны, поскольку изучению таких видов топлива уделялось меньше внимания.) Удаление обычных загрязнителей, включая ртуть, до сжигания позволяет снизить их выброс в атмосферу до очень низкого уровня при значительно меньших затратах и гораздо меньшем потреблении энергии, чем в случае очистки топочных газов на обычных электростанциях.

Давления, возникающего при улавливании CO_2 , достаточно для транспортировки газа по трубам к местам подземного захоронения, удаленным на сотни километров. Однако для передачи на большие расстояния могут потребоваться насосные станции, чтобы компенсировать потери давления на газодинамическом сопротивлении.

В целом при внедрении CCS на угольных электростанциях количество угля, сжигаемого для получения одного киловатт-часа электроэнергии, увеличивается примерно на 30% в традиционных паровых котлах и менее чем на 20% на IGCC-электростанциях. Однако общее потребление угля может и не возрасти, поскольку удорожание энергии, получаемой на станциях с улавливанием CO_2 , снизит спрос на нее и сделает предпочтительным для потребителей использование электроэнергии, получаемой из возобновляемых источников, и продуктов, изготавливаемых по энергосберегающим технологиям.

Затраты на внедрение CCS будут зависеть от типа электростанции, расстояния до места захоронения, свойств пласта, в который закачивается углекислый газ, и возможности продажи последнего (например, для увеличения добычи нефти). Недавно были проведены исследования, в результате которых были получены оценки увеличения стоимости выработки электроэнергии для двух случаев использования CCS на IGCC-электростанциях с типичными условиями улавливания, транспортировки и захоронения

ОБ АВТОРАХ

Дэниел Лашоф (Daniel A. Lashof), **Роберт Уильямс** (Robert H. Williams) и **Дэвид Хокинс** (David G. Hawkins) несколько десятилетий работают над проблемой предотвращения климатических изменений. Хокинс является директором Центра климата Совета по защите природных ресурсов (*Natural Resources Defense Council, NRDC*) и уже 35 лет занимается вопросами энергетики, защиты атмосферы и климата. Он работал во многих организациях, консультировавших правительство США по вопросам экологии и энергетики. Лашоф занимает пост заместителя директора по науке в Центре климата *NRDC* и с 1989 г. занимается национальной политикой в области энергетики, климата и борьбы с глобальным потеплением. До прихода в *NRDC* он разрабатывал варианты политики по стабилизации климата в Агентстве по защите окружающей среды США. Уильямс возглавляет Группу энергетических систем и анализа политики и Группу улавливания углерода в Институте окружающей среды при Принстонском университете.

УГОЛЬНАЯ ТРЕВОГА

Несмотря на популяризацию понятия «чистый уголь», уголь на самом деле грязен. Хотя улавливание и удержание CO_2 позволяет существенно уменьшить его попадание в атмосферу, добыча и потребление угля остаются одними из самых экологически вредных промышленных процессов

ОПАСНАЯ ПРОФЕССИЯ

Добыча каменного угля — одно из самых опасных занятий. По официальным данным, в 2005 г. в Китае от затопления шахт, обрушений, пожаров и взрывов погибло около 6 тыс. шахтеров (по 16 человек в день). По неофициальным оценкам, число погибших ближе к 10 тыс. Около 600 тыс. китайских шахтеров страдают различными легочными заболеваниями.

В шахтах США техника безопасности соблюдается тщательнее, и в 2005 г. зарегистрировано наименьшее за всю историю число погибших в шахтах: всего 22 человека. Однако и шахты США далеки от идеала, о чем свидетельствуют несколько случаев гибели людей в начале 2006 г.

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПРИРОДУ

Традиционные процессы добычи, обогащения и транспортировки угля уродуют ландшафт и загрязняют воды. При использовании наиболее разрушительных технологий добычи уничтожаются леса и срезаются вершины холмов. Грунт, удаляемый при вскрытии пластов, обычно сваливают в ближайшие долины, при этом часто засыпая реки и ручьи. Открытая разработка разрушает экосистемы и изменяет ландшафт. Хотя законодательство требует регенерации ландшафта, она обычно бывает неполной. При замене лесов искусственно созданными лугами происходят уплотнение почвы и загрязнение вод.



Кислые стоки угольной шахты окрасили русло ручья в оранжевый цвет

Подземная добыча может вызвать серьезные проблемы на поверхности. Обрушение горных выработок вызывает оседание поверхности, сопровождаемое разрушением зданий и дорог. Откачиваемые из шахт воды, которые содержат соединения серы, выщелачиваемые из пустой породы, окрасили тысячи ручьев и рек. Кислые продукты выщелачивания содержат тяжелые металлы, загрязняющие грунтовые воды

ТОКСИЧНЫЕ ВЫБРОСЫ

В США на угольные электростанции приходится около двух третей общего выброса сернистого газа (SO_2) и около 20% выброса окислов азота в атмосферу. Сернистый газ реагирует с атмосферной влагой, вызывая кислотные дожди, и вносит вклад в загрязнение воздуха твердыми частицами, чем обусловлены ты-

сячи преждевременных смертей от легочных заболеваний. Окислы азота в сочетании с углеводородами образуют приземный озон, способствующий образованию смога.

Угольные электростанции США выбрасывают в атмосферу и около 48 т ртути в год. Этот токсичный элемент надолго задерживается в экосистемах. Ртуть, попадающая в организм с пищей, особенно вредоносна для человека в период внутриутробного развития и раннего детства, когда происходит формирование мозга

CO_2 . В случае закачки в пласт, насыщенный соленой водой и расположенный в 100 км от электростанции, стоимость выработки киловатт-часа увеличивается на 1,9 цента по сравнению со случаем выброса всего CO_2 в атмосферу (4,7 цента), т. е. на 40%. В случае же использования уловленного CO_2 для увеличения извлечения нефти на месторождении в 100 км от IGCC-электростанции чистые затраты на выработку электроэнергии вообще не возрастут, если цена добываемой нефти будет не меньше \$35 за баррель, что гораздо ниже нынешнего уровня.

CCS: сегодня или завтра?

Многие производители электроэнергии осознают, что требования по защите окружающей среды рано или

поздно вынудят их внедрять CCS, если они по-прежнему будут использовать уголь. Однако пока большинство энергетических компаний планирует строить новые электростанции без систем улавливания и удержания CO_2 , но готовые к улавливанию CO_2 , т. е. такие, которые могут быть оборудованы средствами CCS, когда это станет необходимо.

Производители электроэнергии часто оправдывают такие решения тем, что ни США, ни большинство других стран с большим потреблением каменного угля еще не институировали такую политику сдерживания изменений климата, которая сделала бы CCS рентабельной в случаях, не связанных с увеличением добычи нефти. В отсутствие доходов от продажи CO_2 для нефте-

добытчиков внедрение CCS на электростанциях с сегодняшней технологией может стать безубыточным только в том случае, если штраф за выброс CO_2 в атмосферу будет не меньше \$25–35 за тонну. Во многих законопроектах предусматриваются значительно меньшие штрафы за выброс CO_2 (или вознаграждения за уменьшение выброса).

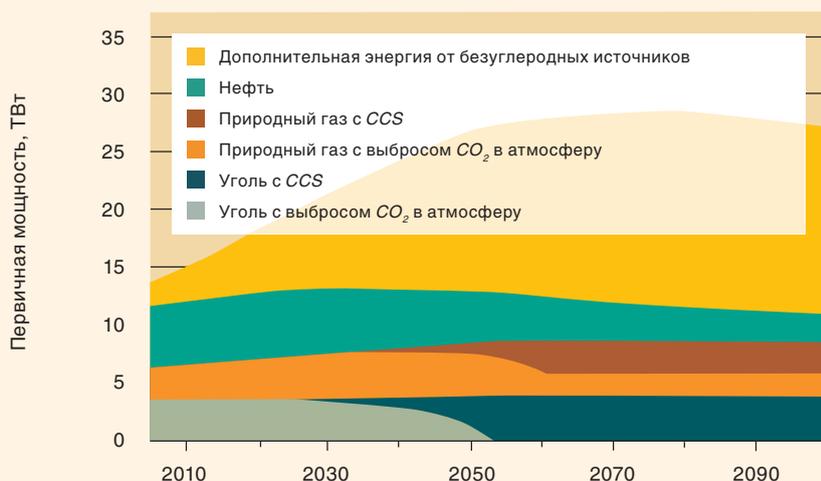
Однако отсрочка внедрения CCS на угольных электростанциях до тех пор, пока цена выброса CO_2 в масштабах всей экономики не станет больше затрат на CCS, не является очевидной. По ряду причин и угледобывающая промышленность, и энергетика, и общество в целом выиграют, если применение CCS-технологий на угольных электростанциях начнется уже сегодня. ▶

МЕТОДЫ СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ CO₂

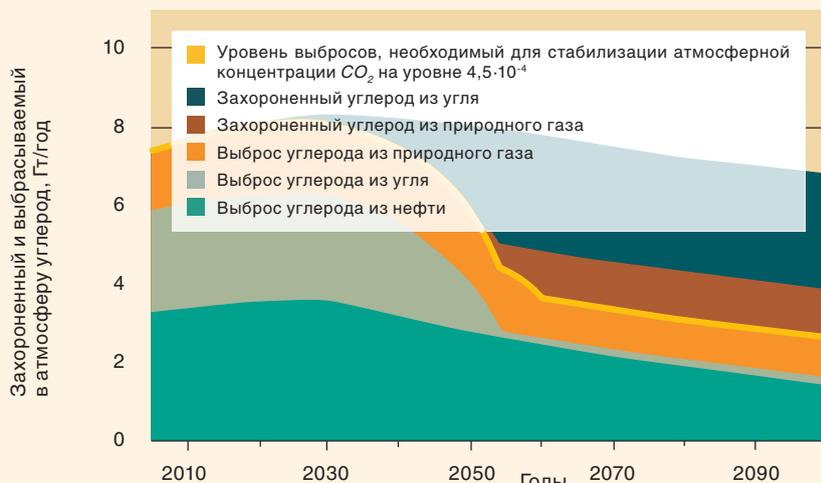
Расчеты показывают, что если быстро взяться за внедрение технологий улавливания и удержания CO₂, то можно удовлетворить потребности человечества в энергии, удерживая объемную концентрацию CO₂ в атмосфере в пределах 4,5·10⁻⁴. Чтобы достичь этой цели, необходимо к середине столетия обеспечить улавливание и захоронение CO₂, выделяемого всем используемым углем и примерно четвертью используемого газа при одновременном быстром уменьшении энергоемкости производств и семикратном увеличении использования источников энергии, не выделяющих CO₂. В этом случае общее потребление ископаемых топлив увеличится умеренно: к середине века использование угля может стать несколько больше, чем сегодня, использование нефти уменьшится на одну пятую, а использование газа возрастет в полтора раза.

Для реализации этой программы уже сегодня следует снижать рост интенсивности использования ископаемых топлив, в начале следующего десятилетия приступить к внедрению технологий CCS для угля, а с 2025 г. — для природного газа. На верхнем графике внизу показано изменение долей различных источников энергии в случае реализации программы, а на нижнем — изменение общего количества извлекаемого из недр углерода (выброс в атмосферу плюс захоронение)

Распределение долей энергии различных видов топлива, необходимое для стабилизации атмосферной концентрации CO₂



Углерод от ископаемых топлив



Во-первых, скорейший путь уменьшения затрат на CCS — это обучение в процессе работы, т.е. накопление опыта в ходе строительства и эксплуатации электростанций с системами CCS. Чем быстрее будут накапливаться знания, тем быстрее будут появляться новые ноу-хау, и тем скорее будут снижаться затраты.

Во-вторых, безотлагательная установка CCS-оборудования даст экономию затрат в долгосрочной перспективе. Большинство строящихся сегодня электростанций будет работать и тогда, когда через несколько десятилетий установка CCS-систем станет, вероятно, обязательным требованием. Однако установка CCS-оборудования на уже действующих электростанциях неизбежно будет дороже, чем на строящихся. Более того, отсутствие ограничений на выброс CO₂ в атмосферу будет подталкивать к дальнейшему строительству электростанций традиционного типа (с прямым сжиганием угля), на которых CCS менее рентабельна.

Наконец, быстрое внедрение CCS позволит продолжить использование ископаемого топлива в ближайшем будущем (до тех пор, пока не получат широкого распространения экологически менее вредные источники энергии) без увеличения содержания CO₂ в атмосфере сверх допустимого уровня. Наши исследования показали, что в случае оснащения всех угольных электростанций системами CCS и использования других мер (см. врезку слева), содержание CO₂ в атмосфере можно будет удерживать на уровне 4,5·10⁻⁴ в течение ближайших 50 лет. Для этого потребуются к 2020 г. оснастить системами CCS новые угольные электростанции суммарной мощностью 36 ГВт (7% новых мощностей угольных электростанций, строительство которых ожидается во всем мире в 2011–2020 гг. при условии неизменности экономических условий). После 2020 г. потребуется в течение 35 лет увеличивать улавливание CO₂ в среднем примерно на 12% в год. Для длительного времени такой темп роста выше

JEN CHRISTIANSEN

типичных оборотов рынка, но не исключителен. Он гораздо меньше темпа роста мощностей атомных электростанций в период атомного бума с 1956 по 1980 гг. (около 40% в год). Да и скорость увеличения мощностей ветровых и солнечных электростанций с начала 1990-х гг. составляет около 30% в год. Однако во всех названных случаях такой рост был бы невозможен без государственной поддержки.

Наши расчеты показывают, что затраты на внедрение CCS будут по-прежнему высокими. Даже если технология не будет совершенствоваться, по нашим оценкам, затраты на улавливание и захоронение всего CO_2 , который будет выработан угольными электростанциями в ближайшие 200 лет, составят \$1,8 трлн. (в долларах 2002 г.). Сумма, конечно, внушительная, но она не превышает 0,07% мирового валового продукта за тот же период. Итак, вполне возможно, что быстрое уменьшение выбросов CO_2 в атмосферу угольными электростанциями вполне осуществимо и технически, и экономически, хотя для подтверждения этого вывода применительно к отдельным регионам потребуется дополнительный анализ.

Необходим политический стимул

Не исключено, что промышленность оставит мудрые соображения в пользу активного внедрения CCS без внимания, если ее не подтолкнет правительственная политика. Предлагаемые меры должны стать частью обширной стратегии контроля выбросов CO_2 .

В США необходимо как можно скорее начать национальную программу по сдерживанию выбросов CO_2 , чтобы ввести в действие законодательные нормы и рыночные стимулы, необходимые для быстрого и всестороннего перевода инвестиций в энергетические технологии, менее загрязняющие атмосферу. Общественные и политические лидеры США признают, что количественная оценка глобального потепления и принятие действенных мер по его

ограничению насущно необходимы. Чтобы создать энергетическим компаниям условия для экономического внедрения технологий уменьшения выбросов CO_2 , нужно создать рынок для торговли квотами на них, как это сделано для выбросов оксидов серы, вызывающих кислотные дожди. В этом случае организации, которые захотят превысить установленную норму выбросов, смогут покупать квоты у тех, кто способен уложиться в установленные пределы с запасом.

Чтобы не превышать допустимые нормы выброса CO_2 при наименьших затратах, необходимо сосредоточить усилия на уменьшении энергоемкости производства и развитии методов получения электроэнергии из возобновляемых источников. Часть квот на выбросы, предоставляемых в рамках программы улавливания и продажи CO_2 , следует выделять фонду помощи в преодолении административных барьеров и устранении технических рисков, препятствующих широкому внедрению экономических технологий сокращения выбросов CO_2 .

Даже если программа улавливания и продажи будет введена в действие в ближайшие годы, экономический выигрыш от сокращения выбросов поначалу может быть недостаточным для того, чтобы побудить производителей электроэнергии вкладывать деньги в строительство электростанций с системами CCS. Чтобы остановить строительство традиционных угольных электростанций, федеральное правительство должно создать стимулы для внедрения CCS.

Можно потребовать увеличить долю энергии, вырабатываемой угольными электростанциями с низким уровнем выброса CO_2 : скажем, не больше 30 г углерода на киловатт-час (вполне посильная задача для современных технологий CCS). Для этой цели следует обязать производителей электроэнергии, использующих уголь, увеличивать долю мощности, производимой на электростанциях с уменьшенным выбросом CO_2 . Каждая энергетическая

компания сможет либо вырабатывать требуемое количество электроэнергии с применением технологий сокращения выброса CO_2 , либо покупать такую энергию. В результате дополнительные затраты на внедрение CCS будут распределены на всех производителей энергии, вырабатываемой на угольных электростанциях, и всех ее потребителей.

Удовлетворить мировую потребность в электроэнергии, сохранив атмосферную концентрацию CO_2 на уровне $4,5 \cdot 10^{-4}$, можно лишь сочетая уменьшение энергоемкости производства, увеличение доли возобновляемых источников энергии и использование технологий улавливания и подземного хранения CO_2 . Хотя «чистого» угля не существует, единая стратегия сокращения выбросов CO_2 позволит предотвратить катастрофические изменения климата Земли даже при значительном использовании угля. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- How to Clean Coal. C. Canine in OnEarth. Natural Resources Defense Council, 2005. Доступно на www.nrdc.org/onearth/05fal/coal1.asp
- IPCC Special Report on Carbon Capture and Storage, 2005. Доступно на http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/IPCCSpecialReportonCarbondioxideCaptureandStorage.htm
- Avoiding Dangerous Climate Change. Edited by H.J. Schellnhuber, W. Cramer, N. Nakicenovic, T. Wigley and G. Yohe. Cambridge University Press, 2006.
- Big Coal: The Dirty Secret behind America's Energy Future. J. Goodell. Houghton Mifflin, 2006.
- Carbon Dioxide Capture and Geologic Storage. J.J. Dooley, R.T. Dahowski, C.L. Davidson, M.A. Wise, N. Gupta, S.H. Kim and E.L. Malone. Technology Report from the Second Phase of the Global Energy Technology Strategy Program, 2006.
- Сайт Совета по защите природных ресурсов: www.nrdc.org/globalwarming
- Сайт Института окружающей среды при Принстонском университете: www.princeton.edu/~cmi



Чтобы удовлетворить растущий спрос на электроэнергию, нужно построить множество новых атомных электростанций



Джон Дойч и Эрнест Мониц

ЯДЕРНЫЙ вариант

Трехкратное
увеличение
производства
ядерной энергии
позволит сократить
ежегодный выброс
углерода
в атмосферу почти
на 2 млрд. т

Ядерная энергия обеспечивает одну шестую часть всемирного потребления электричества и наряду с гидро-электроэнергией, составляющей чуть больше одной шестой, представляет собой важнейший источник безуглеродной энергии. Образ атомной энергетики омрачен воспоминаниями о катастрофах в Чернобыле и на Тримайл-Айленде, однако современные атомные электростанции (АЭС) демонстрируют высочайшую надежность и эффективность. Мировых запасов урана вполне достаточно, чтобы обеспечить топливом намного больше реакторов, чем существует сегодня.

Озабоченность глобальным потеплением растет, а вместе с ней и вероятность того, что выбросы парниковых газов так или иначе станут объектом жесткого регулирования. Поэтому неудивительно, что и правительства, и поставщики электроэнергии все чаще задумываются о постройке новых АЭС. В природном газе содержится меньше углерода, чем в других видах ископаемого топлива, а капитальные затраты на постройку и эксплуатацию

современных газовых электростанций относительно невелики. Однако стоимость вырабатываемого ими электричества зависит от цен на природный газ, которые в последние годы заметно выросли и стали нестабильными. Цены на уголь, наоборот, невысоки и устойчивы, но при его сжигании выделяется больше всего углекислого газа. Если мы хотим использовать угольные электростанции, не выбрасывая в атмосферу огромные объемы CO₂, нам придется оснастить их оборудованием для его улавливания, а также построить подземные хранилища для захоронения. Разумеется, это приведет к существенному подорожанию «угольной» электроэнергии. Высказанные соображения заставляют усомниться в целесообразности вложения денег в электростанции, работающие на газе и угле.

Судя по всему, для атомной энергетики наступает эпоха Возрождения. С 2000 г. было введено в строй более 20 ГВт ядерных мощностей, главным образом на Дальнем Востоке. Однако, несмотря на очевидный интерес среди ведущих ядерных операторов, из США не поступило ни одного заказа. Дело в том, что сооружение новых ядерных установок сопряжено с большими капитальными затратами, и при этом до сих пор никто точно не знает, что делать с ядерными отходами. Кроме того, повсеместное распространение атомной энергетики может привести к появлению ядерного оружия в странах, руководство которых питает нездоровые амбиции.

В 2003 г. Массачусетский технологический институт (МТИ) провел большое исследование, в ходе которого было выяснено, что требуется для сохранения и развития атомной

энергетики. Был разработан сценарий, согласно которому общая мощность ядерных реакторов всего мира к 2050 г. должна утроиться и достигнуть 1 ТВт, за счет чего сокращение выбросов углерода в атмосферу может составить от 800 млн. до 1,8 млрд. т в год в зависимости от того, какие электростанции будут замещены атомными — газовые или угольные. Таким образом, атомная энергетика могла бы внести существенный вклад в стабилизацию атмосферной концентрации парниковых газов, требующую уменьшения количества углерода, выбрасываемого в атмосферу, на 7 млрд. т в к 2050 г. (см. статью «Секторы газа», в этом номере).

Топливный цикл

Если атомной энергии суждено получить столь широкое распространение, то какие ядерные установки следует строить? В открытом (однократном) топливном цикле уран сжигается в реакторе единожды, после чего радиоактивные отходы отправляются в глубокие подземные могильники. Однако в отработанном топливе содержится плутоний, который можно извлекать химическим путем и превращать в топливо для других АЭС. Это так называемый замкнутый топливный цикл, которому отдают предпочтение многие специалисты (см. Марш Д., Стэнфорд Д. и Ханнум У. Как использовать ядерные отходы, ВМН, 2006, № 3).

В некоторых странах, особенно во Франции, широко используется замкнутый топливный цикл, когда плутоний отделяется от отработанного топлива, и смесь оксидов плутония и урана затем снова сжигается. В более длинном цикле можно повторно использовать вообще все трансурановые элементы, например, в так называемых быстрых реакторах (реакторах на быстрых нейтронах). В результате устраняются почти все долгоживущие компоненты, и проблема радиоактивных отходов снимается. Однако такая схема сопряжена с целым рядом технических и экономических трудностей.

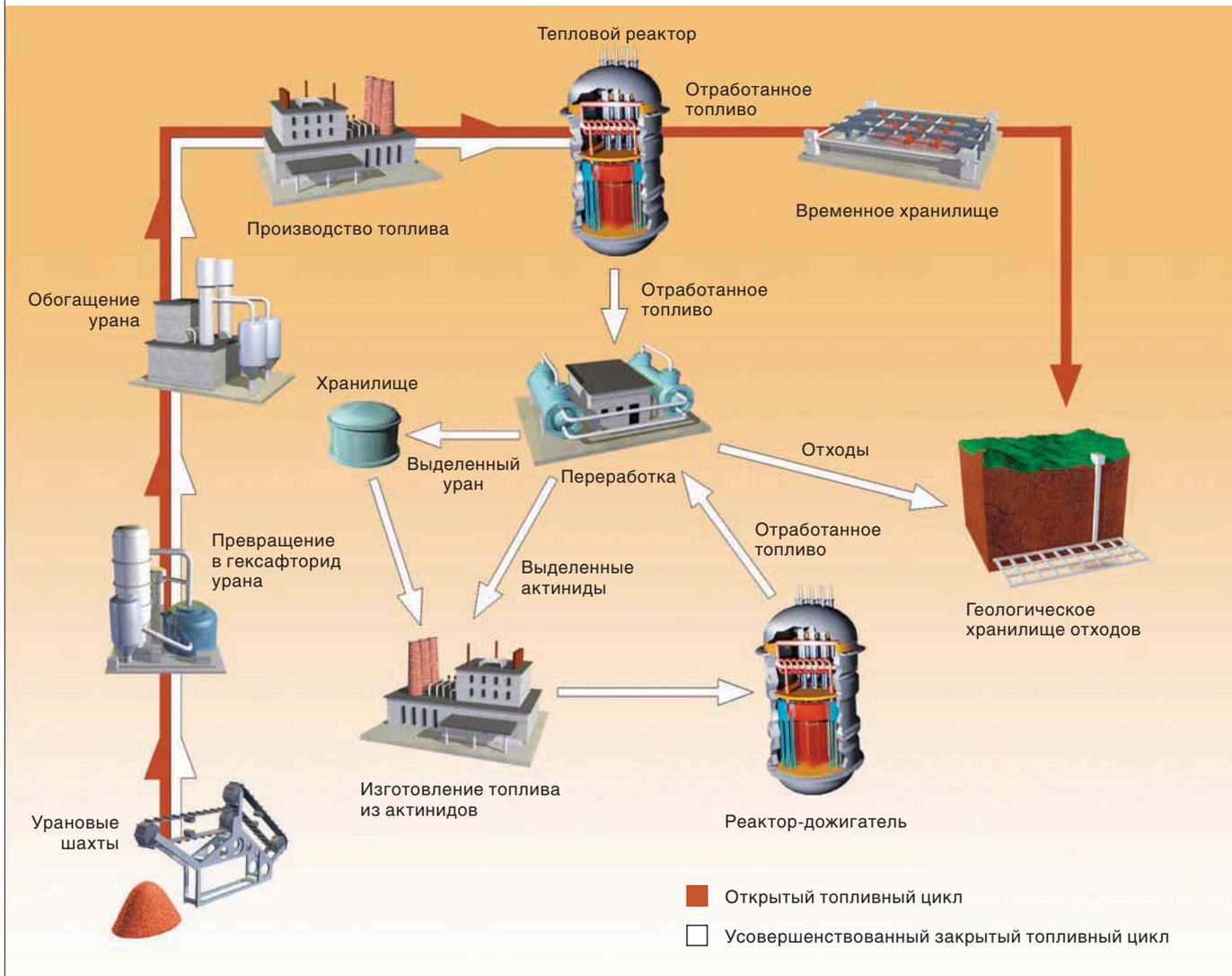
ОБЗОР

- К 2050 г. глобальное потребление электроэнергии увеличится на 160%.
- Строительство сотен АЭС поможет удовлетворить такой спрос без увеличения выбросов углекислого газа.
- Для этого потребуются новые экономичные АЭС, централизованные хранилища отходов и международные соглашения о нераспространении ядерного оружия.

KENN BROWN (preceding pages)

ТОПЛИВНЫЕ ЦИКЛЫ

В ближайшие несколько десятилетий рекомендуется использовать открытый топливный цикл: уран сжигается в тепловом реакторе один раз, и отработанное топливо попадает в хранилище отходов (красная линия). В некоторых странах используется замкнутый цикл: из отработанного топлива извлекается плутоний, который смешивается с ураном для повторного использования в тепловом реакторе (не показан). В далеком будущем предпочтение, вероятно, будет отдано усовершенствованному замкнутому циклу (белая линия): плутоний вместе с другими актинидами и, возможно, ураном из отработанного топлива будут перерабатываться и использоваться в специальных реакторах-дожигателях, что позволит резко сократить количество отходов, требующих долгосрочного хранения



Преимущества переработки и повторного использования отработанного топлива очевидны: для получения той же самой выходной мощности используется меньше сырья, а задача долгосрочного хранения отходов упрощается, т.к. существенно сокращается объем радиоактивных материалов, требующих надежного захоронения на протяжении многих тысяч лет. Однако мы считаем, что на ближайшие десятилетия следует отдать предпочтение

открытому циклу. Во-первых, переработанное топливо дороже исходного урана. Во-вторых, имеющихся запасов недорогого урана вполне достаточно, чтобы обеспечить ожидаемое утроение глобального производства ядерной энергии при использовании открытого топливного цикла в ближайшие 40–50 лет. В-третьих, долгосрочная экологическая выгода от сокращения радиоактивных отходов компенсируется сиюминутным риском для окружающей среды,

связанным с переработкой и обогащением вторичного топлива. Наконец, в замкнутом топливном цикле производится плутоний, который может быть использован для создания ядерного оружия.

В ближайшие 20 лет будут доминировать реакторы, в которых для охлаждения и замедления нейтронов используется обычная легкая вода, не содержащая дейтерий. Их технология хорошо отработана и многократно проверена, поскольку ▶



На иранском обогатительном заводе в Натанце вполне можно было бы производить оружейный уран. Подписание международного соглашения, согласно которому страны-пользователи арендуют ядерное топливо у стран-поставщиков и отказываются от создания собственных предприятий для обогащения урана, могло бы существенно снизить риск распространения ядерного оружия

на подавляющем большинстве работающих сегодня АЭС используют установки именно этого типа.

Различают несколько поколений ядерных реакторов. Самые ранние модели, построенные в 1950-х гг. и в начале 1960-х гг., были уникальными. Реакторы поколения II, наоборот, строились по типовым проектам в больших количествах с конца 1960-х гг. и до начала 1990-х гг. В реакторах поколения III используется улучшенная топливная технология и безопасная конструкция, благодаря которой в случае аварии реактор останавливается сам без вмешательства операторов. Первый реактор третьего поколения был построен в Японии в 1996 г. К поколению IV относятся ныне разрабатываемые проекты реакторов с шаровыми теплоделяющими элементами (ТВЭЛ) и быстрых реакторов со свинцовым охлаждением. Кроме того, существует поколение III+: АЭС третьего поколения с различными усовершенствованиями и доработками. Реакторы четвертого поколения, за исключением высокотемпературных с газовым охлаждением (например, с шаровыми ТВЭЛ), будут внедряться не раньше, чем через несколько десятилетий. В нашем сценарии, рассчитанном до 2050 г., мы ориентировались на ис-

пользование легководных реакторов поколения III+.

Технология реакторов с шаровыми ТВЭЛ позволяет создавать модульные АЭС. Вместо гигантских электростанций на 1 ГВт можно использовать модули мощностью около 100 МВт каждый. Поскольку в этом случае капитальные затраты невысоки, такой подход весьма привлекателен для развивающихся стран. Конечно, стоимость энергии, вырабатываемой традиционными АЭС, несколько ниже за счет экономии от масштаба, но это преимущество будет сведено на нет, когда будет налажено массовое производство небольших модулей. В 2007 г. в Южной Африке начнется строительство экспериментальной АЭС на базе реактора с шаровыми ТВЭЛ мощностью 110 МВт. Ее ввод в эксплуатацию намечен на 2011 г., а двумя годами позже планируется запустить несколько модулей по 165 МВт каждый. Предполагается, что подобные модули будут продаваться по всему миру.

Сокращение стоимости

Электричество, вырабатываемое новыми АЭС, дороже, чем получаемое на новых угольных и газовых электростанциях. Исследование, проведенное МТИ в 2003 г., показало, что

проектируемые реакторы на легкой воде позволят производить электроэнергию по 6,7 цента/кВт·ч. В эту цифру заложены как все расходы на строительство и эксплуатацию электростанции, так и ожидаемая прибыль инвесторов. При прочих равных условиях новая угольная электростанция сможет вырабатывать электричество стоимостью 4,2 цента/кВт·ч, а новая газовая — по цене 5,8 цента/кВт·ч.

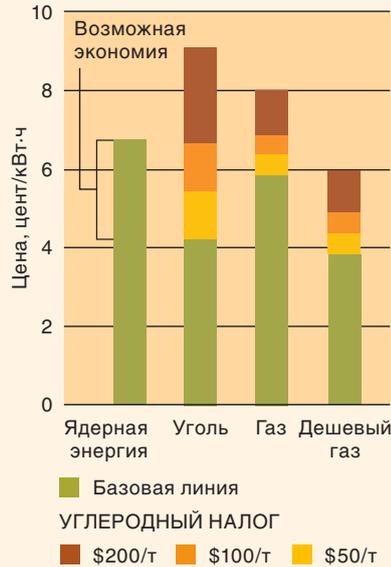
Многие выразят сомнение в состоятельности таких оценок, ссылаясь на легкомысленность заявлений сорокалетней давности о том, что атомная энергия «будет слишком дешевой, чтобы ее измерять». Однако анализ, проведенный сотрудниками МТИ, основан на опыте, накопленном в этой отрасли, и на фактических показателях действующих электростанций, а не на обещаниях атомной промышленности. Кроме того, атомные, угольные и газовые станции рассматривались как равноправные альтернативы, т.к. нет никаких причин, по которым можно было бы отдать предпочтение одному из перечисленных вариантов.

Можно предпринять определенные шаги, чтобы сделать стоимость атомной электроэнергии ниже рассчитанных нами 6,7 цента/кВт·ч. Сокращение строительных расходов на 25% снизило бы стоимость электричества до 5,5 цента/кВт·ч. Уменьшение длительности строительства АЭС с пяти до четырех лет и усовершенствование ее работы и обслуживания может срезать еще 0,4 цента/кВт·ч. Помимо всего прочего, стоимость электростанции сильно зависит от законодательства, действующего в месте ее расположения. Сокращение стоимости капитала для АЭС до уровня станции, работающей на газе или угле, позволило бы сравнить цену атомной и угольной электроэнергии. Все перечисленные меры вполне реальны (особенно если будет строиться большое количество станций по нескольким типовым проектам), но их действенность пока не проверена.

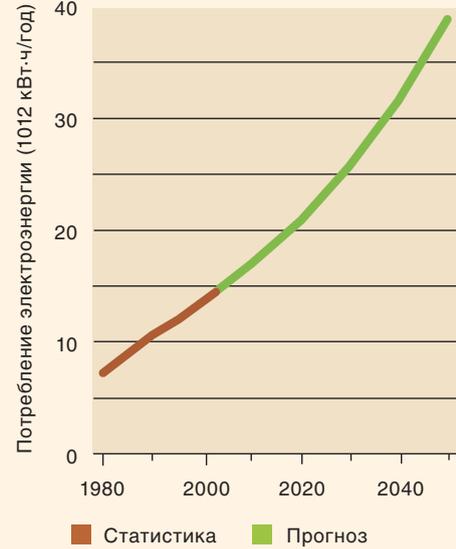
ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

В предстоящие десятилетия существенно увеличится мировой спрос на электроэнергию. Чтобы удовлетворить его, придется построить тысячи новых электростанций. Важнейшим показателем при определении типа сооружаемых электростанций будет предполагаемая стоимость вырабатываемого электричества. Если АЭС смогут составить конкуренцию угольным и газовым электростанциям, то к 2050 г. мощность мировой атомной энергетики возрастет втрое по сравнению с 2000 г.

КАЖДЫЙ САМ ЗА СЕБЯ
Предполагаемая стоимость электроэнергии, которую будут вырабатывать строящиеся электростанции, зависит от многих факторов. Налоги на выбросы углерода могут поднять цены на энергию, производимую угольными и газовыми электростанциями. Стоимость ядерной энергии может быть снижена несколькими возможными, но еще не проверенными способами



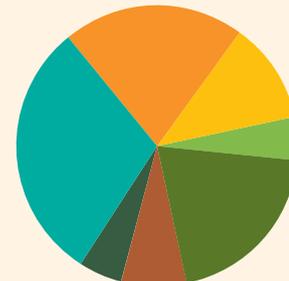
ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА
Мировое потребление электричества к 2050 г. возрастет на 160%. Для прогноза (зеленая линия) использована оценка прироста населения по данным ООН. Предполагается, что потребление электроэнергии на душу населения в развитых странах увеличивается на 1% в год. В развивающихся странах потребление электричества растет быстрее, поскольку они еще не достигли уровня развитых стран



Строительство новой АЭС поколения III+ мощностью 1,6 ГВт в Олкилуото, Финляндия.

КТО БУДЕТ ВЛАДЕТЬ ЭНЕРГИЕЙ?

Согласно сценарию, разработанному специалистами МТИ, в 2050 г. США будут производить третья часть от 1 ТВт электрической мощности, вырабатываемой атомными электростанциями всего мира. Все остальные развитые страны будут производить еще одну треть мировой ядерной энергии



ДОЛЯ ОБЩЕЙ МОЩНОСТИ В 2050 Г.

- США
- Европа и Канада
- Развитые страны Восточной Азии
- Страны бывшего Советского Союза
- Китай, Индия и Пакистан
- Индонезия, Бразилия и Мексика
- Другие развивающиеся страны

Атомная энергия станет экономически выгодной, если за выбросы углерода придется платить (см. стр. 49). Мы будем называть это углеродным налогом, однако механизм назначения цен в данном случае не обязательно должен быть фискальным. В Европе разрешения на выброс углерода продаются на открытом рынке. В начале 2006 г. они продавались по \$100 за 1 т углерода (или \$27 за 1 т углекислого газа), а недавно их цена упала в два раза. Налог всего в \$50 за 1 т углерода повышает стоимость электричества,

вырабатываемого на угольной станции, до 5,4 цента/кВт·ч. При налоге в \$200 за 1 т углерода, цена «угольного» электричества достигнет 9 центов/кВт·ч, а цена «газового» — 7,9 цента/кВт·ч. В принципе, электростанции на ископаемом топливе можно оснастить оборудованием для улавливания и дальнейшего захоронения парниковых газов, однако издержки производства электроэнергии в таком случае возрастут на величину, сопоставимую с углеродным налогом (см. Соколов Р. Похороны глобального потепления, ВМН, 2005, № 10).

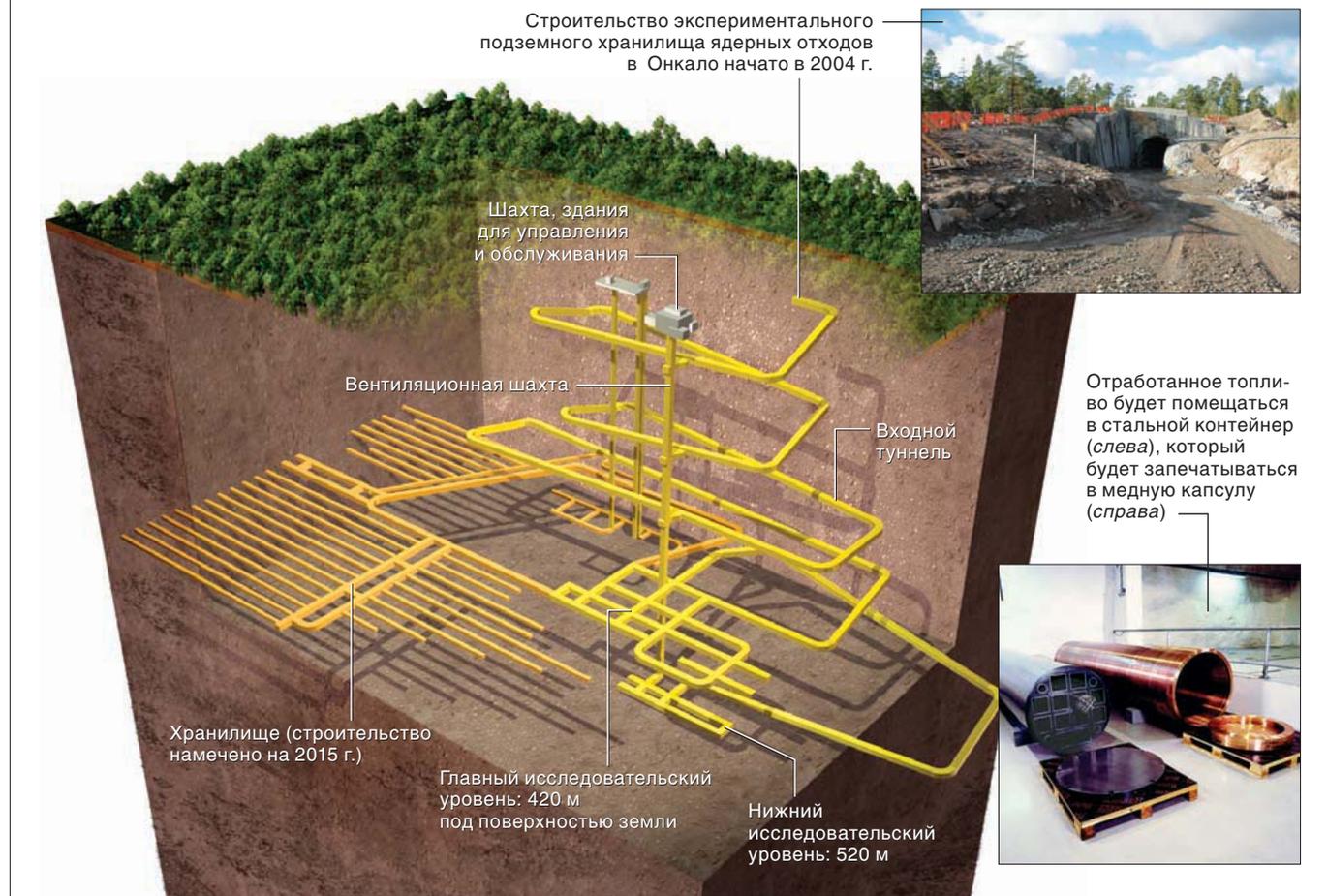
Куда девать отходы?

Ни в одной стране мира пока нет надежной системы долговременного хранения отработанного ядерного топлива и других радиоактивных отходов атомных электростанций. Наиболее приемлемым считается геологический подход, при котором отходы сохраняются в подземных камерах на глубине нескольких сотен метров. Идея заключается в том, чтобы предотвратить утечку радиоактивных веществ на многие тысячелетия с помощью специальных контейнеров и естественных геологических формаций, ▶

JEN CHRISTIANSEN, SOURCES: ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION AND ERNEST J. MONIZ (electricity consumption); "THE FUTURE OF NUCLEAR POWER," BY STEPHEN ANSOLABEHRE ET AL., MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2003 (cost of electricity and generation capacity); AREVA (photograph)

ЗАХОРОНЕНИЕ ЯДЕРНЫХ ОТХОДОВ

В Финляндии полным ходом идет разработка подземного хранилища ядерных отходов в Олкилуото. Согласно плану, отработанные топливные элементы будут помещаться в большие контейнеры, состоящие из внутренней стальной емкости, обеспечивающей механическую прочность, и толстой медной оболочки, защищающей от коррозии. Контейнеры будут устанавливаться в гнезда, просверленные в полу туннелей, а затем засыпаться глиной, защищающей от водных потоков. Хранилище начнет принимать отходы с четырех финских ядерных реакторов в 2020 г.



расположенных в подходящих гидрогеологических бассейнах. Геологический способ захоронения изучался десятилетиями, и сейчас специалисты хорошо разбираются в механизме процессов, при которых радионуклиды могли бы переместиться из хранилища в биосферу.

Несмотря на уверенность теоретиков, практическая оценка пригодности геологического участка для устройства могильника сопряжена с серьезными трудностями.

Возможность захоронения радиоактивных отходов в горном хребте Юкка в пустыне Невада обсуждается

уже более 20 лет (см. *Надис С. Человек против горы, ВМН, 2003, № 7*). Недавно выяснилось, что в нем содержится значительно больше воды, чем предполагалось. Поэтому неясно, выдаст ли Комиссия США по ядерному регулированию (NRC) лицензию на строительство могильника в этом районе.

Задержки с принятием решения по вопросу об отходах (даже если оно будет положительным, могильник в Юкке откроется не раньше 2015 г.) могут помешать строительству новых АЭС. Согласно закону, транспортировка отработанного топлива в централизованное хранилище должна была начаться еще в 1998 г. Поскольку этот план провалился, на многих АЭС пришлось

ОБ АВТОРАХ:

Джон Дойч (John M. Deutch) и **Эрнест Мониц** (Ernest J. Moniz) — профессора Массачусетского технологического института, возглавлявшие в 2003 г. междисциплинарную исследовательскую программу «Будущее ядерной энергетики». С 1977 по 1980 г. Дойч был заместителем министра энергетики США, а с 1994 по 1995 г. — заместителем министра обороны США. С 1995 по 1997 г. Мониц был заместителем директора по науке в Управлении научно-технической политики США, а с 1997 по 2001 г. — заместителем министра энергетики США. Сейчас авторы этой статьи возглавляют исследовательскую программу, посвященную применению угля.

увеличивать местные хранилища к большому неудовольствию населения окрестных городов и сел.

Первый в мире склад высокоактивных ядерных отходов, вероятно, появится в Финляндии. В Олкилуото, где расположены два ядерных реактора, началось сооружение подземной лаборатории Онкало, которая будет построена на полукилометровой глубине. В ходе работы будет исследована структура скального массива и грунтовых вод. Технология захоронения отходов будет проверена в реальных условиях глубокого подземного хранилища. Если все пойдет согласно плану, и будут получены необходимые правительственные лицензии, первые контейнеры с отработанным ядерным топливом поступят сюда в 2020 г. К 2130 г. могильник заполнится, и ведущие к нему шахты будут завалены и заблокированы. Расходы на его постройку и эксплуатацию включаются в стоимость финской атомной энергии с конца 1970-х гг.

Чтобы разобраться с отходами в США, необходимо собрать отработанное топливо со всех коммерческих АЭС страны и разместить его в федеральных временных хранилищах, пока не будет построено постоянное. Промежуточное захоронение радиоактивных материалов на период до 100 лет должно стать неотъемлемой частью долгосрочной стратегии захоронения ядерных отходов. Это позволит правительству и промышленности выиграть время на поиск окончательного решения проблемы.

Тем временем Министерству энергетики следует провести переоценку пригодности хребта Юкка при различных условиях и в случае необходимости скорректировать график работы над проектом. Если мировая атомная энергетика дорастет до мощности в 1 ТВт, то в открытом топливном цикле будет создаваться достаточно высокоактивных отходов и отработанного топлива, чтобы заполнять по одному хранилищу размером с могильник в Юкке каждые 3,5 года. С точки зрения общества, это серьезное препятствие для

повсеместного развития атомной энергетики, но его можно и нужно преодолеть.

Угроза распространения ядерного оружия

Помимо проведения внутренней политики по работе с радиоактивными отходами, необходимо приложить дипломатические усилия для создания международной системы стран-поставщиков ядерного топлива и стран-пользователей. Страны-поставщики, такие как США, Россия, Франция и Великобритания, должны продавать странам-пользователям свежее ядерное топливо и изымать у них отработанное. В свою очередь, страны-пользователи должны отказаться от сооружения предприятий для производства топлива. Такая договоренность привела бы к существенному снижению риска распространения ядерного оружия, который связан не с эксплуатацией АЭС, а прежде всего с обогащением топлива и переработкой отходов.

Дело в том, что собственное производство топлива в странах с сокращенными ядерными программами экономически бессмысленно. На международном рынке мир уже разделился на стран-поставщиков и стран-пользователей. Поэтому становление модели «поставщик/пользователь» — это лишь вопрос формализации сложившейся ситуации в виде новых долгосрочных соглашений, которые закрепят рыночную реальность.

Хотя предложенная схема весьма привлекательна для стран-пользователей, которые получают надежный источник дешевого топлива и будут избавлены от необходимости возиться с радиоактивными отходами, следует использовать и другие стимулы для соблюдения требований о нераспространении ядерного оружия. Например, если бы существовала всемирная система торговли квотами на выбросы парниковых газов, то странам, арендующим ядерное топливо, можно было бы предоставлять дополнительные квоты за постройку новых АЭС.

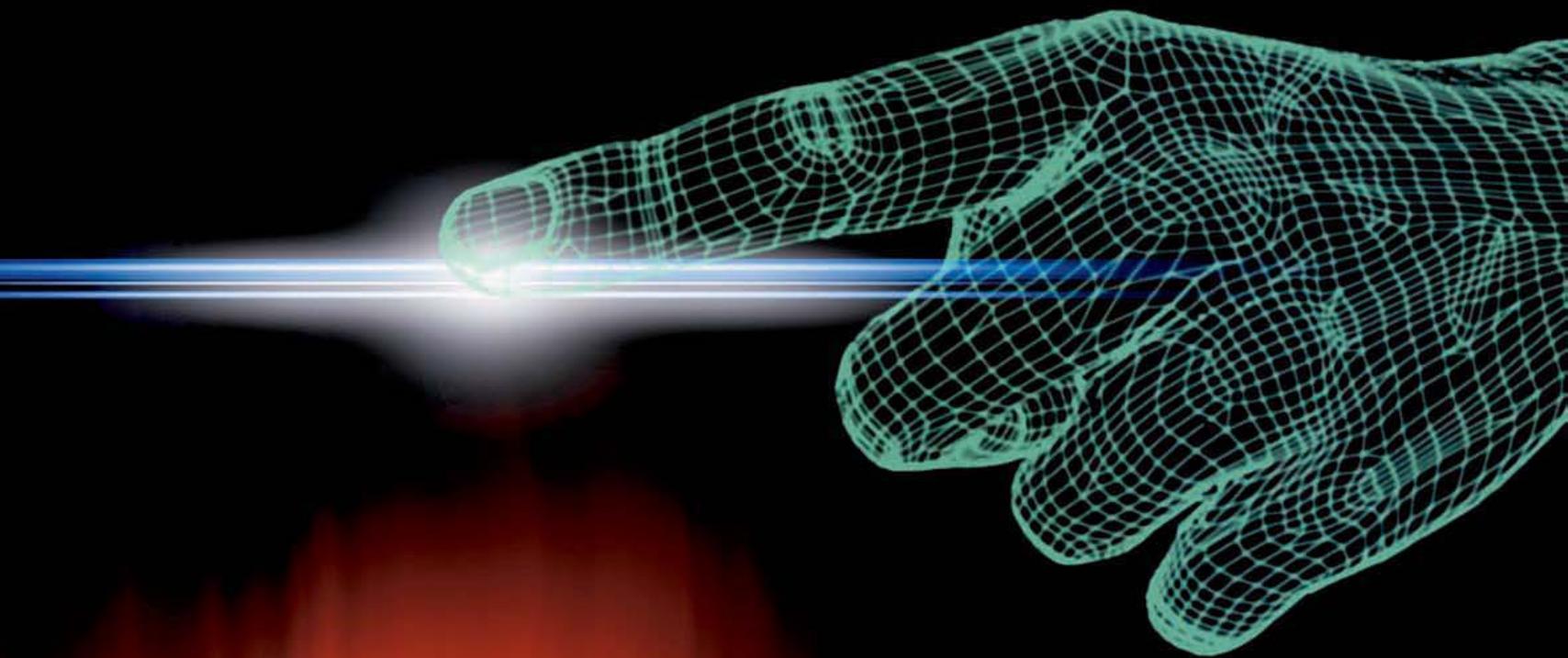
Тераваттное будущее

Чтобы к середине текущего столетия существенно сократить объемы выбросов углекислого газа, необходимо добиться получения 1 ТВт мощности без углерода, что в терминах Соколова и Пакалы соответствует одному или двум из семи требуемых «секторов стабилизации». Мировой атомной энергетике будет нелегко достичь тераваттного уровня к 2050 г., ведь для этого нужно будет ежемесячно увеличивать вырабатываемую мощность на 2 ГВт. Речь идет не только о вложении \$2 трлн. в ближайшие 20 лет, но и о снижении стоимости АЭС, организации надежного захоронения радиоактивных отходов, а также о подписании международных соглашений по нераспространению ядерного оружия. Решающее значение будет иметь цена, которую придется платить за выбросы углекислого газа, выделяющегося при сжигании ископаемого топлива.

Будущее атомной энергетики определяется не только экономикой. Принятие ее обществом зависит от решения проблем захоронения радиоактивных отходов и распространения ядерного оружия. Поэтому судьба «мирного атома» в США и Европе пока остается под вопросом. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- The Future of Nuclear Power. Stephen Ansolabehere et al. Massachusetts Institute of Technology, 2003. <http://web.mit.edu/nuclearpower/>
- Making the World Safe for Nuclear Energy. John Deutch, Arnold Kanter, Ernest Moniz and Daniel Poneman in *Survival*, Vol. 46, No. 4, pages 65-79; December 2004. www.iiss.org/publications/survival
- Ядерные реакторы четвертого поколения: <http://gen-iv.ne.doe.gov/>
- Реактор с шаровыми ТВЭЛ: www.pbmr.co.za
- Сайт лаборатории Онкало: www.posiva.fi/englanti/
- Комиссия США по ядерному регулированию: www.nrc.gov



Владимир Фортов

ЭНЕРГИЧНЫЙ ВЫЗОВ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ науке

Очевидно, что в современном мире энергетика играет первостепенную роль. С особой остротой наши читатели почувствовали это в мае позапрошлого года, когда авария на Чагинской подстанции в Москве на некоторое время буквально парализовала жизнь значительной части мегаполиса (см.: Минкел. Дж. *Оздоровление энергосетей // ВМН, 2004, № 2*). Происшествие, хотя и не было глобальным, показало, насколько мы уязвимы и зависимы от ставших привычными благ цивилизации, прежде всего, от наличия электричества в наших домах и городах. Не будет преувеличением сказать, что от состояния энергетики напрямую зависят не только жизнедеятельность, благосостояние, перспективы государства, но и его безопасность.

Оборачиваясь назад

Первым обратил внимание на тесную взаимосвязь между уровнем экономического развития страны и ее удельной энерговооруженностью еще академик П.Л. Капица. Сегодня ни у кого не вызывает сомнения, что претендовать на заметное место на международной арене могут лишь страны с развитым топливно-энергетическим комплексом, способные обеспечить свою энергетическую независимость и возвести на ее основе мощную экономику.

Надо сказать, что Россия имеет в данном вопросе серьезные преимущества, поскольку, в отличие от многих развитых государств, вынужденных закупать нефть и газ, наша страна обладает богатейшими природными ресурсами. В частности, по запасам газа мы практически не уступаем странам Ближнего Востока, а на каждого россиянина сегодня приходится в 10 раз больше энергоресурсов, чем в среднем на планете. Такая щедрость природы, а также дальновидность наших предшественников позволили нам еще в советские времена создать мощную энергетическую систему страны. Энергетика всегда была приоритетным направлением

развития отечественной экономики. Государство отдавало себе отчет в чрезвычайной важности данного сектора для жизнедеятельности и безопасности. Поэтому отрасль всегда щедро финансировалась и развивалась опережающими темпами.

Наличие государственной стратегии ее развития позволило осуществить грандиозные проекты — от знаменитого плана ГОЭЛРО до внедрения первых в мире парогазовых установок на сверх- и суперкритических параметрах, первых атомных станций, электрогенераторов гигаваттной мощности и других впечатляющих технических достижений принципиального характера. Особое место здесь занимает Единая энергетическая система протяженностью около 2,5 млн. км (что до сих пор остается мировым рекордом), способная передавать по стране до 8 ГВт электроэнергии вслед за движением Солнца. Поскольку она проектировалась и строилась в основном во времена ударных строек, то в нее с соответствующим эпохе размахом был заложен пятикратный запас мощности, что без преувеличения позволило стране выжить во время войны и в кризисный постперестроечный период, когда, казалось, российская экономика стоит на пороге коллапса.

Однако, не получая инвестиций, отечественная энергетика на протяжении последних 15 лет фактически дотировала реорганизуемую экономику страны. Но чудес не бывает, по крайней мере, в промышленности. Много лет нещадно эксплуатируя изначальные запасы прочности, энергосистема в конце концов исчерпала их и оказалась на грани истощения. За последние годы в 10 раз сократился ввод новых мощностей: если в начале 1990-х гг. он составлял 6 ГВт в год, то сегодня едва достигает 0,6–1,0 ГВт. Износ энергетического оборудования достиг критического уровня. Более половины генерирующих электропередающих сетей выработали свой ресурс и нуждаются в замене, причем до 20% из них находятся ▶

В современном мире претендовать на место на международной арене могут лишь страны с развитым топливно-энергетическим комплексом, способные обеспечить свою энергетическую независимость и безопасность



в аварийном состоянии. Между тем сегодняшнее динамичное развитие экономики и бурный рост жилищно-коммунального хозяйства требуют все больше энергии и тепла, тем более что в наших холодных краях более половины энергоресурсов уходит просто на обогрев.

Специалисты из Института энергетических исследований РАН в свое

промышленного производства, он дает половину налоговых поступлений при том, что в нем занято всего 4% работающих страны.

Энергетика всегда была одной из основных отраслей нашей экономики, она не только обеспечивает функционирование всех секторов народного хозяйства, но и служит мощным инструментом междуна-

Жизнедеятельность, благоденствие и безопасность государства напрямую зависит от состояния энергетики

время предупреждали о возможности кризиса в энергетической области, который грозит стране серьезными последствиями. Речь идет не только о возможных авариях, — развал энергосистемы остановит экономическое развитие, сведет на нет любые социальные преобразования, свернет национальные проекты и в конечном счете поставит под угрозу безопасность страны. Следует иметь в виду, что на топливно-энергетический сектор приходится производство четверти ВВП, трети

родной геополитики. С учетом вышесказанного, дальнейшее развитие топливно-энергетического комплекса требует продуманной государственной стратегии, предусматривающей расширение ресурсной базы, энерготранспортной сети, замену старых и введение новых генерирующих мощностей, повышение качества и надежности систем тепло- и электроснабжения, оптимизацию энергоэффективности и т.д. Сейчас РАН совместно со специалистами РАО ЕЭС разрабатывают

как меры, требующие немедленного осуществления, так и долгосрочные проекты создания новой энергетики России.

Взгляд в будущее

Согласно расчетам и перспективным прогнозам, основой российской энергетики еще долгое время будет органическое топливо, причем наиболее распространенным его видом пока остается газ. В относительных величинах мы потребляем его в два раза больше, чем остальные страны мира. Такая особенность связана, прежде всего, с наличием его значительных запасов, а также со специфической ценовой политикой: газ у нас сегодня стоит столько же, сколько уголь, между тем в других странах его стоимость в 2–3 раза выше. В обозримом будущем доля газа в отечественной энергетике будет постепенно сокращаться, а потребление угля — увеличиваться. Сегодня большая часть энергии (до 80%) вырабатывается с помощью тепловых машин, и в ближайшие 50–70 лет такая тенденция сохранится, однако роль возобновляемой, атомной и термоядерной энергии будет возрастать, что со временем позволит решить многие проблемы будущего.

Стремительный технический и экономический прогресс последних десятилетий, многочисленные электронные приборы, которые уже вошли в каждый дом, требуют от энергетики нового качества, что невозможно без опоры на новейшие достижения фундаментальной науки. В частности, для повышения КПД и эффективности тепловых машин необходим переход к предельно высоким температурам и давлениям, приближающимся к экстремальным как для конструкционных материалов, так и для рабочих сред. Сегодня ученые и инженеры разработали множество новых способов получения энергии. Не все из них готовы к немедленному внедрению, но в любом случае они наметили траекторию дальнейшего развития отрасли. Остановимся подробнее на некоторых из них.

Парогазовые силовые установки

Наиболее совершенными на сегодняшний день тепловыми устройствами считаются парогазовые силовые установки, предложенные в свое время академиком С.А. Христиановичем. Принцип их действия основан на соединении высокотемпературной газовой турбины с паросиловой установкой, использующей тепло выходящих из турбины горячих газов. КПД таких комбинированных циклов в 1,2–2 раза выше обычных и достигает 60%, а с использованием высокотемпературных оксидных топливных элементов может составлять и до 80%.

Принцип действия механизма следующий. В основе установки — газовая турбина с компрессором, имеющая от 14 до 16 ступеней сжатия. Основное энерговыделение происходит в камере сгорания, температура продуктов сгорания достигает при этом 2 тыс. °С. Полезная работа производится в самой турбине, которая работает в экстремальных условиях: лопатки первого ряда раскалены докрасна и нагреты до 1300–1500 °С, нагрузка на каждую из них составляет около 40 т, и на каждой преобразуется 5 МВт энергии.

Различные изобретения и новые материалы позволяют повысить термостойкость, поднять рабочую температуру цикла и КПД, обеспечивая при этом высокую надежность. Пока такие разработки весьма дорогостоящи. Они используют опыт авиационно-космической техники. Так, стоимость одной лопатки сопоставима с ценой «Мерседеса» E-класса.

Такие агрегаты работают в экстремальных условиях, а потому одним из важнейших направлений современной теплофизики становится создание материалов теплофизики, способных эффективно функционировать при сверхвысоких температурах и давлениях. Российская теплофизика высоких температур многим обязана таким выдающимся ученым, академиком, как В.А. Кириллин и А.Е. Шейндлин, которые в свое время провели уникальные исследования теплофизических



свойств веществ, воды и водяного пара, что позволило вывести паросиловые установки на сверхкритический уровень, значительно подняв их КПД.

Среды и материалы

Сегодня исследователи пошли еще дальше: используя новейшие методики мощных ударных волн, лазерного излучения, взрыва химических веществ, электровзрыва фольг и проволок, они впервые в мире достигли сверхкритических параметров многих металлов и открыли плазменные фазовые переходы, которые

еще в 1942 г. были предсказаны академиками Л.Д. Ландау и Я.Б. Зельдовичем. Лазерные методы изучения теплофизических свойств позволяют продвинуться еще дальше в область экстремальных состояний и осуществить высокотемпературные измерения термодинамики и теплопроводности облученного диоксида урана — основного топлива современной ядерной энергетики.

Создание фемтосекундных лазеров позволило не только получать рекордные плотности, мощности и температуры, но и изучать сверхбыстрые процессы и кинетику ▶



Газовая турбина 9H, GE, фирма «Салют»

фазовых превращений. В ходе опытов выяснилось, что кратковременная прочность материалов значительно выше, чем статическая, что важно учитывать при анализе высокочастотных режимов работы энергетических машин.

Российские теплофизики продолжают свои изыскания в данном направлении. В частности, РАН в «соавторстве» с Росатомом осуществили масштабные исследования теплофизических свойств рабочих сред и материалов, в результате чего были созданы банки данных и пакеты прикладных программ для численного моделирования высокоэнер-

Горение и детонация топлива

Не меньшее значение для энергетики имеет адекватное описание процессов горения топлива. В основе современных методов управления названными процессами лежат работы академиков Н.Н. Семенова и Я.Б. Зельдовича — именно они заложили в свое время основы современной физикохимии, физической газодинамики и химической кинетики подобных явлений. Главная задача здесь заключается в том, чтобы найти оптимальные пропорции при смешении горючего и окислителя, чтобы в процессе горения при максимально возможных температурах

крупнейшие в мире экспериментальные стенды, позволяющие моделировать и изучать возможное развитие тех или иных процессов.

Электрофизика

В области электро- и энергофизики перед специалистами стоят ответственные задачи, связанные со снижением потерь электроэнергии и повышением надежности генерирующего, передающего и распределительного электрооборудования. Одно из наиболее перспективных направлений — сверхпроводимость, особенно высокотемпературная. Исследователи уже добились значительного роста критической температуры сверхпроводящего перехода, который преодолел порог кипения жидкого азота. Активно ведутся работы по созданию сверхпроводящих индуктивных накопителей, ограничителей тока, сверхпроводящих кабелей и соленоидов, магнитных систем, моторов и трансформаторов.

Развитие физики полупроводников дало возможность создать надежные и эффективные сильноточные полупроводниковые приборы, позволяющие управлять значительными мощностями в энергопередающих, распределительных и ограничительных устройствах. Большая заслуга здесь принадлежит Ленинградскому физико-техническому институту им. А.Ф. Иоффе РАН, школе Нобелевского лауреата академика Ж.И. Алферова.

Наиболее перспективными представляются переход на карбид кремния и широкое внедрение силовых полупроводниковых приборов, благодаря которым появится возможность оптимизировать управление, повысить качество и надежность электроэнергетики.

Кстати, что касается полупроводников, то наиболее привлекательной идеей выглядит использование солнечной энергии — экологически чистого возобновляемого источника. Российская наука ведет обширные исследования в данной области. Особо следует отметить работы академика Ж.И. Алферова, посвященные

На каждого россиянина сегодня приходится в 10 раз больше энергоресурсов, чем в среднем на планете

гетических процессов. Было построено широкодиапазонное уравнение состояния урана, описывающее все фазовые переходы: плавления, испарения, ионизации давлением и нагревом. Кстати, подобные методы численного моделирования гидродинамики и теплообмена приобретают все большее значение для энергетики, поскольку ни одно сложное техническое устройство не может быть создано без предварительных расчетов и оптимизации.

выделялось как можно больше тепла, но как можно меньше токсичных выбросов.

Однако, несмотря на мощный прогресс в данной области, мы ясно понимаем, что имеющихся знаний в области физико-химических реакций горения и взрыва недостаточно, чтобы полностью управлять столь сложными явлениями и обеспечить надлежащую безопасность энергетики. Для дальнейших работ в этом направлении в РАН созданы



Первое в мире устройство, имитирующее удар молнии

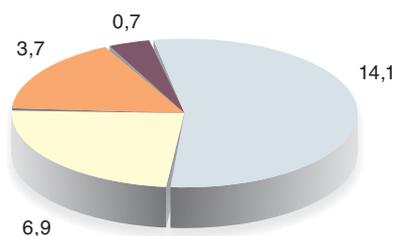
многослойным гетероструктурным преобразователям, использующим максимально широкий диапазон падающего излучения, – такие приборы способны давать КПД, близкий к теоретическому пределу.

Импульсная энергетика

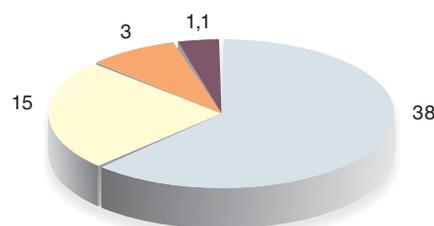
Мировое признание получили также работы академика Г.А. Месяца, посвященные мощной импульсной электронике, ставшие новым словом в электрофизике управления большими мощностями. Подобные разработки позволяют, используя методы временной компрессии и формирования импульсов, управлять гигантскими (мегаамперными) токами и тераваттными мощностями, сопоставимыми с мощностями всех электростанций Земли. Такие системы импульсной энергетика используются сегодня для проверки надежности и устойчивости энергосистем, а также для прямого преобразования химической энергии в мощное электромагнитное излучение. В частности, на основе данных разработок было создано первое в мире устройство, имитирующее удар молнии в промышленные линии электропередачи (см. стр. 56). Оно уже прошло испытания на одной из подстанций

ЭНЕРГЕТИКА В ЭКОНОМИКЕ РОССИИ

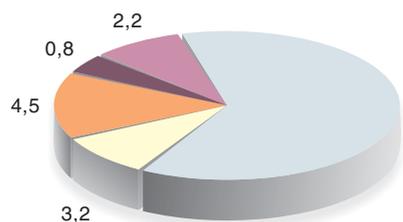
Доля в ВВП — 25,4%,
в промышленном производстве — 30%



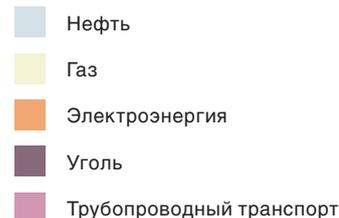
Доля в экспорте — 57,1%



Доля в налогах — 28,5%,
в федеральном бюджете — 54%



ТЭК — 4% работающих



дерные устройства, разработанные академиком Л.А. Арцимовичем.

Сама идея магнитного термояда принадлежит академикам А.Д. Сахарову и И.Е. Тамму, предложившим идею магнитной теплоизоляции горячей плазмы. Сейчас перед

ноганных воздействий, но и в плане защиты энергоресурсов и энергосистем от возможных терактов.

Таким образом, для решения стоящих перед энергетикой ответственных задач необходимы не только неотложные и скоординированные усилия различных направлений академической и прикладной науки, но и политическая поддержка руководства страны. Необходимо принятие государственной программы создания современной, мощной и безопасной энергетика, которая на десятилетия вперед обеспечит развитие России. ■

Основой российской энергетика еще долгое время будет органическое топливо, причем наиболее распространенным его видом пока остается газ

(кстати, аналогичной печально известной Чагинской) и показало уязвимые места промышленного электрооборудования.

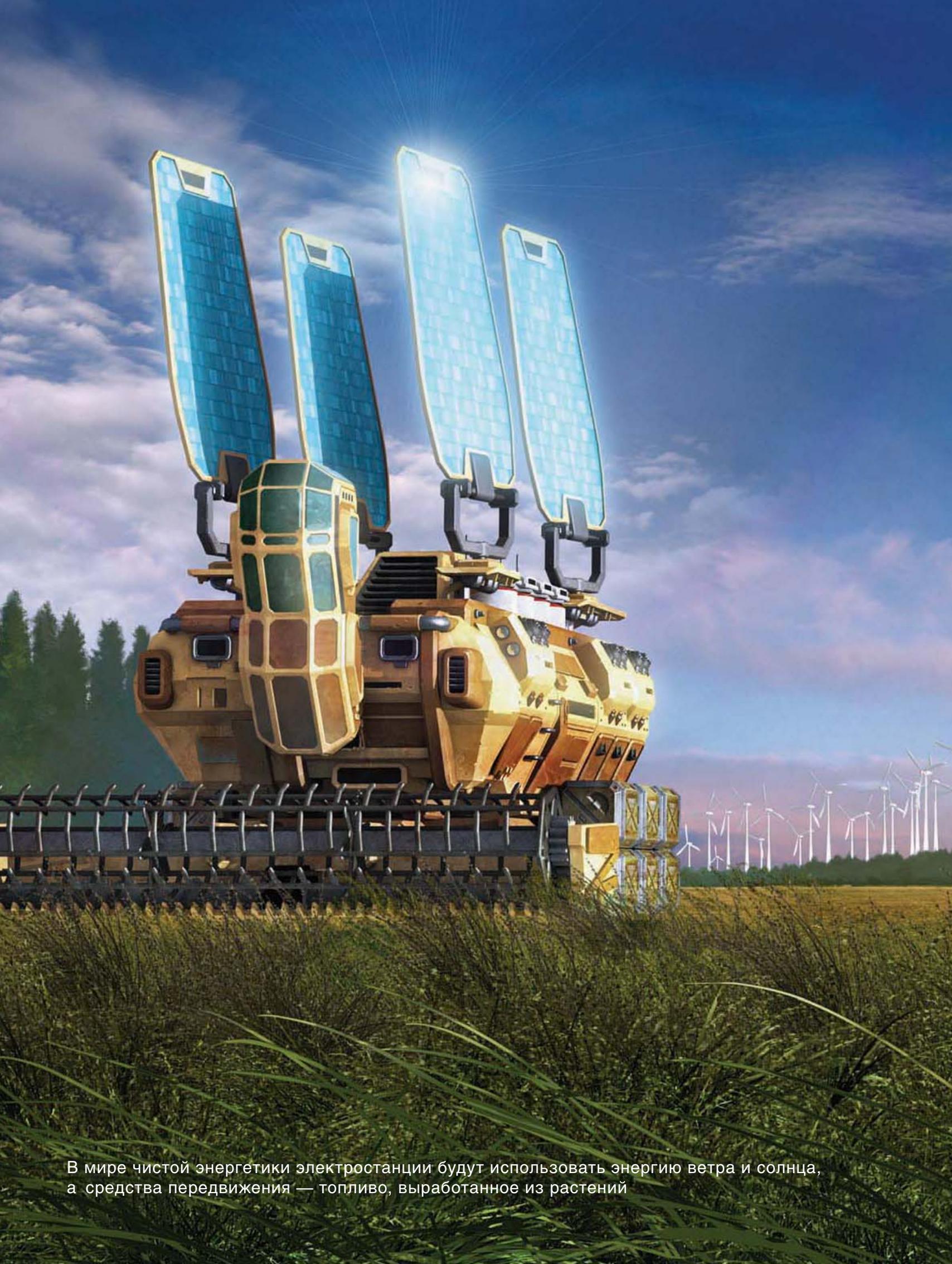
В последнее время новый импульс получили исследования в области управляемого термоядерного синтеза, во многом благодаря усилиям академика Е.П. Велихова, энергично развернувшего работы по созданию международного реактора *ITER*. Весной этого года проект *ITER* был отмечен международной премией «Глобальная энергия». В его основе лежат магнитные тороидальные термоя-

физиками стоит целый ряд увлекательных и сложных фундаментальных и инженерных проблем, в частности, в области физики плазмы, материаловедения, сильноточной электроники и т.д. Решение подобных задач наконец позволит людям овладеть термоядерной энергией, сделать ее более доступной и коммерчески выгодной.

Говоря об актуальных задачах энергетика, следует отметить вопросы энергобезопасности, причем не только в плане надежности, защищенности от природных и тех-

ОБ АВТОРЕ

Владимир Евгеньевич Фортов — академик-секретарь Отделения энергетика, машиностроения, механики и процессов управления РАН, директор Института теплофизики экстремальных состояний ОИВТ РАН, председатель Координационного совета по техническим наукам РАН, председатель Научного совета по проблеме «Физика низкотемпературной плазмы» РАН.



В мире чистой энергетики электростанции будут использовать энергию ветра и солнца, а средства передвижения — топливо, выработанное из растений

Дэниэл Камен

ЧИСТАЯ ЭНЕРГЕТИКА



Солнечные батареи, ветровые турбины и биологическое топливо все чаще используются в качестве альтернативных способов получения энергии

Ни один проект по снижению выбросов парниковых газов не приведет к успеху, если он будет нацелен исключительно на повышение эффективности использования энергии. Развитие промышленности неотделимо от роста энергопотребления: больше угля для электростанций, больше бензина для автомобилей, больше природного газа для бытовых нужд и т.д. Никакое повышение экономичности автомобилей и производственных процессов, никакие программы энергосбережения не компенсируют издержек роста экономики. Чтобы избежать неблагоприятных последствий загрязнения атмосферы, мир должен перейти на возобновляемые источники энергии — солнечные батареи, ветровые турбины, биологическое топливо и т.д.

Интерес к таким ресурсам возник еще 30 лет назад в связи с введением

странами ОПЕК эмбарго на поставки нефти в 1970-х гг. Однако кризис миновал, и финансирование работ прекратилось. Теперь пришло время обратиться к ним вновь. Альтернативной энергетике требуется не только состояние окружающей среды, но и зависимость экономики многих стран от нефти и цен на нее. Однако для развития новых технологий и их массового внедрения нужны долгосрочные программы, разработанные с участием ученых, инженеров, экономистов и политиков всех стран.

Пусть всегда будет солнце!

В настоящее время вклад в мировую энергетику солнечных батарей, превращающих силу нашего светила в электричество, ничтожно мал: их суммарная мощность составляет лишь 5 тыс. мегаватт (МВт), т.е. 0,15% энергии, поставляемой всеми остальными источниками вместе взятыми. А между тем солнечный свет может дать в 5 тыс. раз больше энергии, чем необходимо современным потребителям. Однако прогресс есть: за последние 10 лет годовое производство фотоэлектрической энергии увеличилось на 25%, а в 2005 г. — на 45%. В Японии в абсолютном выражении оно достигло 833 МВт, в Германии — 353 МВт, в США — 153 МВт.

Солнечные батареи просты и удобны в использовании, их можно устанавливать где угодно: на крышах и стенах жилых и производственных помещений, на специально оборудованных открытых площадках в регионах с большим числом солнечных дней (например, в пустынях)

и даже вшивать в одежду. Исследования, проведенные моей группой в Калифорнийском университете в Беркли, показывают, что при сохранении нынешних темпов прироста количество производимой таким способом энергии только в США достигнет 10 тыс. МВт всего за 20 лет. Однако ее стоимость пока слишком высока для промышленности: киловатт-час солнечной энергии стоит 20–25 центов, между тем как цена электричества, производимого ТЭЦ, работающей на угле, составляет 4–6 центов, на природном газе — 5–7 центов, на биологическом топливе — 6–9 центов. За последнее десятилетие солнечные батареи за счет усовершенствования технологии их изготовления стали доступнее. Так, в Японии подобное оборудование ежегодно дешевеет на 8%, в Калифорнии — на 5%.

Рекордсменом по числу солнечных установок на душу населения стала Кения, где каждый год появляется более 30 тыс. новых батарей мощностью всего 12–30 Вт. Заплатив \$100 за такое устройство и комплектацию к нему, можно заряжать автомобильный аккумулятор, освещать жилище или обеспечивать работу небольшого черно-белого телевизора в течение нескольких часов. Такие приборы обычно изготавливают из аморфного кремния. Они менее эффективны, чем их аналоги на кристаллическом кремнии, зато в 4 раза дешевле.

С помощью солнечной энергии можно получать не только электричество, но и тепло. Когда-то подобные системы использовались в быту и на производстве для нагрева воды. Одна из таких конструкций представляет собой систему зеркал, направляющих солнечный свет на светоприемник двигателя Стирлинга.

Осенью 2005 г. компания *Stirling Energy System* объявила о намерении построить две крупные солнечные теплоэлектростанции на юге Калифорнии. Первая расположится в пустыне Мохаве и будет состоять из 20 тыс. зеркальных «тарелок». Дата ее предполагаемого запуска — 2009 г., проектная мощность — ▶

ОБЗОР

- Возобновляемые источники энергии вскоре займут достойное место в мировой энергетике.
- Чтобы ускорить процесс перехода на безуглеродную энергетику, развитые страны должны вкладывать гораздо больше средств в соответствующие научно-технические разработки.
- Целесообразно ввести налог на выбросы парниковых газов, чтобы подтолкнуть промышленные предприятия к использованию безопасных для окружающей среды источников энергии.

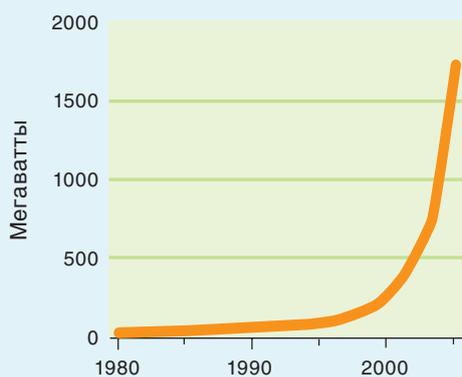
КАПЛЯ В МОРЕ

Несмотря на то, что солнечные батареи, ветровые турбины и биологическое топливо все решительнее отвоевывают место на рынке, они по-прежнему остаются маргинальными по сравнению с такими источниками энергии, как уголь, нефть и природный газ

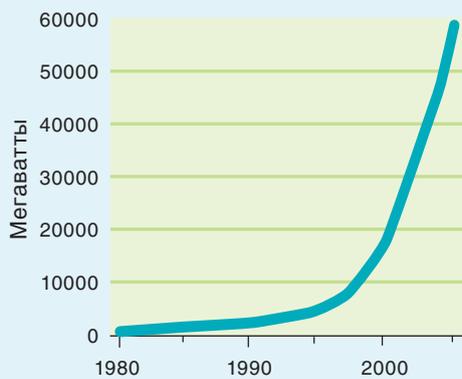
БУМ НА РЫНКЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Процесс активного внедрения альтернативных методов получения энергии начался в 2000 г. В 2005 г. производство солнечных батарей в мире увеличилось на 45% в год. За счет строительства новых «ветровых ферм» в последнее десятилетие количество вырабатываемой ими энергии выросло в 10 раз. В 2006 г. было получено 36,5 млрд. литров этанола из растительного сырья

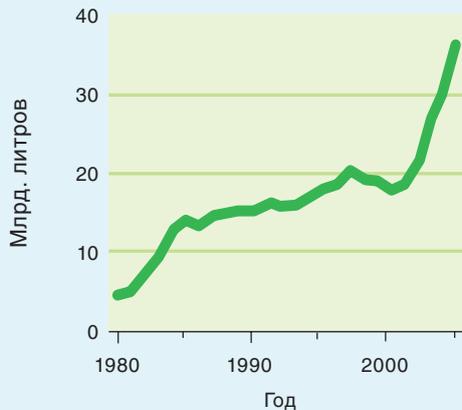
Производство «солнечной» энергии



Производство «ветровой» энергии

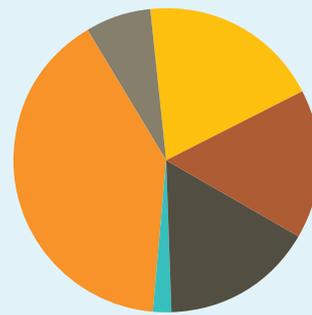


Производство этанола

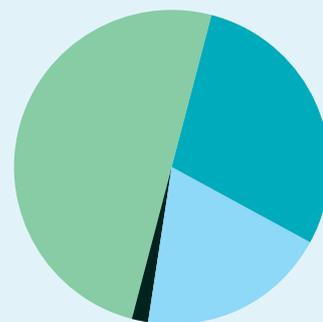


Соотношение между количеством энергии, получаемой разными способами

- электростанции, работающие на угле
- на нефти
- на природном газе
- атомные электростанции
- гидроэлектростанции
- возобновляемые источники за исключением гидроэлектростанций



- биологическое топливо
- ветровые турбины
- геотермальные воды
- солнечные батареи



НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Чтобы успешно конкурировать с традиционной энергетикой, производители альтернативных технологий должны решить ряд проблем. В частности, следует удешевить солнечные батареи; при строительстве «ветровых ферм» необходимо учитывать их способность вписываться в ландшафт и требования местных жителей. Свои проблемы есть и у других альтернативных способов получения энергии

850 МВт. Вторая станция в долине Империял будет оснащена 12 тыс. зеркал, ее мощность составит 900 МВт.

Стоимость энергии, вырабатываемой существующими на сегодняшний день солнечными теплоустановками, варьирует от 5 до 13 центов за 1 кВт·ч, причем наиболее эффективными считаются системы с применением зеркал. Калифорнийский проект предусматривает

3 тыс. МВт, в Великобритании, Нидерландах, Италии и Португалии — более чем по 1 тыс. МВт.

За последние пять лет ветровая энергетика стала набирать обороты и в США, хотя в 2005 г. количество энергии, выработанной подобным образом, составило 9,1 тыс. МВт, т.е. всего 0,5% общего энергетического баланса страны. Однако перспективы весьма масштабны: если бы США реализовали все имеющиеся ресур-

в ландшафт и испортят пейзаж. Однако отказ от них зачастую означает строительство новых угольных электростанций, которые тоже отнюдь не украсят окрестности.

«Зеленое» топливо

Еще одно перспективное направление энергетики будущего предусматривает использование биологического топлива, способного отчасти заменить бензин. Чаще всего в качестве альтернативного горючего используется этанол, который получают путем сбраживания кукурузы и добавляют к бензину. Его производители имеют существенные налоговые льготы и ежегодно получают субсидии в сумме \$2 млрд. В 2005 г. они продали 16 млрд. литров своего продукта (примерно 3% объема всего произведенного автомобильного топлива); ожидается, что к 2007 г. продажи возрастут на 50%. Некоторые политические деятели сомневаются в целесообразности субсидий, ссылаясь на то, что энергозатраты на выращивание кукурузы, ее сбор и очистку полученного горючего превышают выгоду от его использования. Однако недавно мои коллеги и я обнаружили, что при подобных подсчетах не учитывается энергия, содержащаяся в побочных продуктах производства этанола. При внимательном анализе всех расходов и доходов оказывается, что выигрыш в энергии при использовании «кукурузного» горючего составляет почти 5 мегаджоулей (МДж) на литр.

К сожалению, выяснилось, что при сжигании этанола вредных выбросов образуется больше, чем ожидалось. По самым оптимистическим оценкам, если вместо бензина использовать этанол, то уровень выделяющихся парниковых газов уменьшится всего на 18%. Несмотря на то, что такая замена позволит многим странам избежать зависимости от поставок нефти, проблемы загрязнения окружающей среды останутся нерешенными, если только не появятся более «чистые» способы получения биологического топлива. ▶

Суммарная мощность, вырабатываемая всеми солнечными батареями — 5 тыс. МВт
Максимальный КПД экспериментальных солнечных батарей — 37%
Стоимость 1 кВт·ч энергии фотоэлектрических генераторов — 20–25 центов

использование высокоэкономичных технологий и рассчитан на массовое производство и потребление энергии, стоимость которой должна составить 4–6 центов за 1 кВт·ч, что приближается к расценкам за электричество, получаемое на угольных ТЭЦ.

На семи ветрах

Ветровая энергетика развивается намного активнее, чем солнечная. Суммарная мощность, вырабатываемая ветрогенераторами, в последние 10 лет увеличивалась ежегодно на 25%, и в 2005 г. составила почти 60 тыс. МВт. В Европе с 1994 по 2005 г. количество получаемой таким способом энергии увеличилось с 1,7 тыс. до 40 тыс. МВт. В Германии ветровые турбины вырабатывают более 18 тыс. МВт энергии, в Испании — 10 тыс. МВт, в Дании —

сы, то за счет энергии ветра можно было бы получать 11 трлн. кВт·ч электроэнергии, что втрое больше, чем ее суммарное количество, выработанное за прошлый год. Причем в наиболее ветреных регионах электроэнергия дешевле чем где бы то ни было: 4–7 центов за 1 кВт·ч.

Создание новых «ветровых ферм» в США стимулируется налоговыми льготами, благодаря которым стоимость продукции уменьшается на 1,9 цента за 1 кВт·ч, что способствует конкурентоспособности ветровых турбин. К сожалению, Конгресс США неоднократно предпринимал попытки отменить послабления, что уже отрицательно сказалось на инвестициях. Кроме того, конгрессмены готовы отказаться от строительства в прибрежной части Массачусетса 130-турбинной ветровой установки мощностью 468 МВт, которая обеспечила бы электричеством большую часть полуострова Кейп-Код и островов Маргас-Виньярд и Нантакет.

Такая политика складывается под давлением коммунальных служб, с недоверием относящихся к новым технологиям, а также не без влияния местных властей, руководствующихся принципом «только не у нас». Их беспокоит, что ветряки не впишутся

ОБ АВТОРЕ

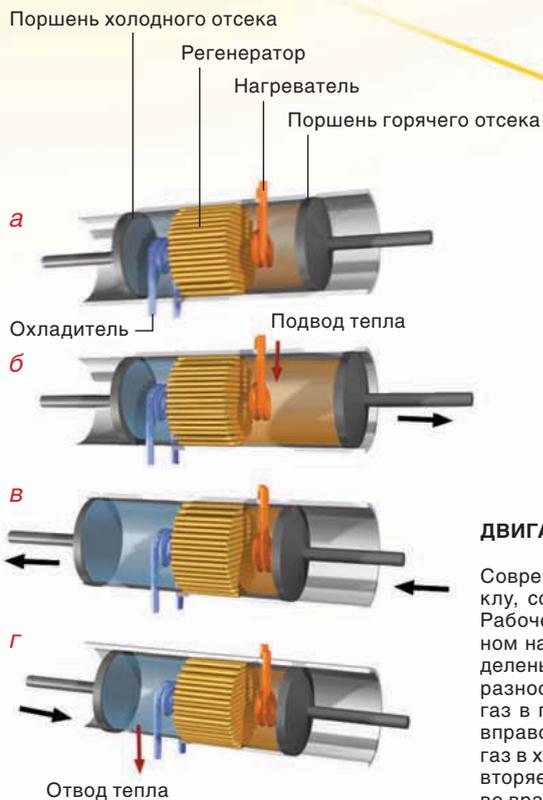
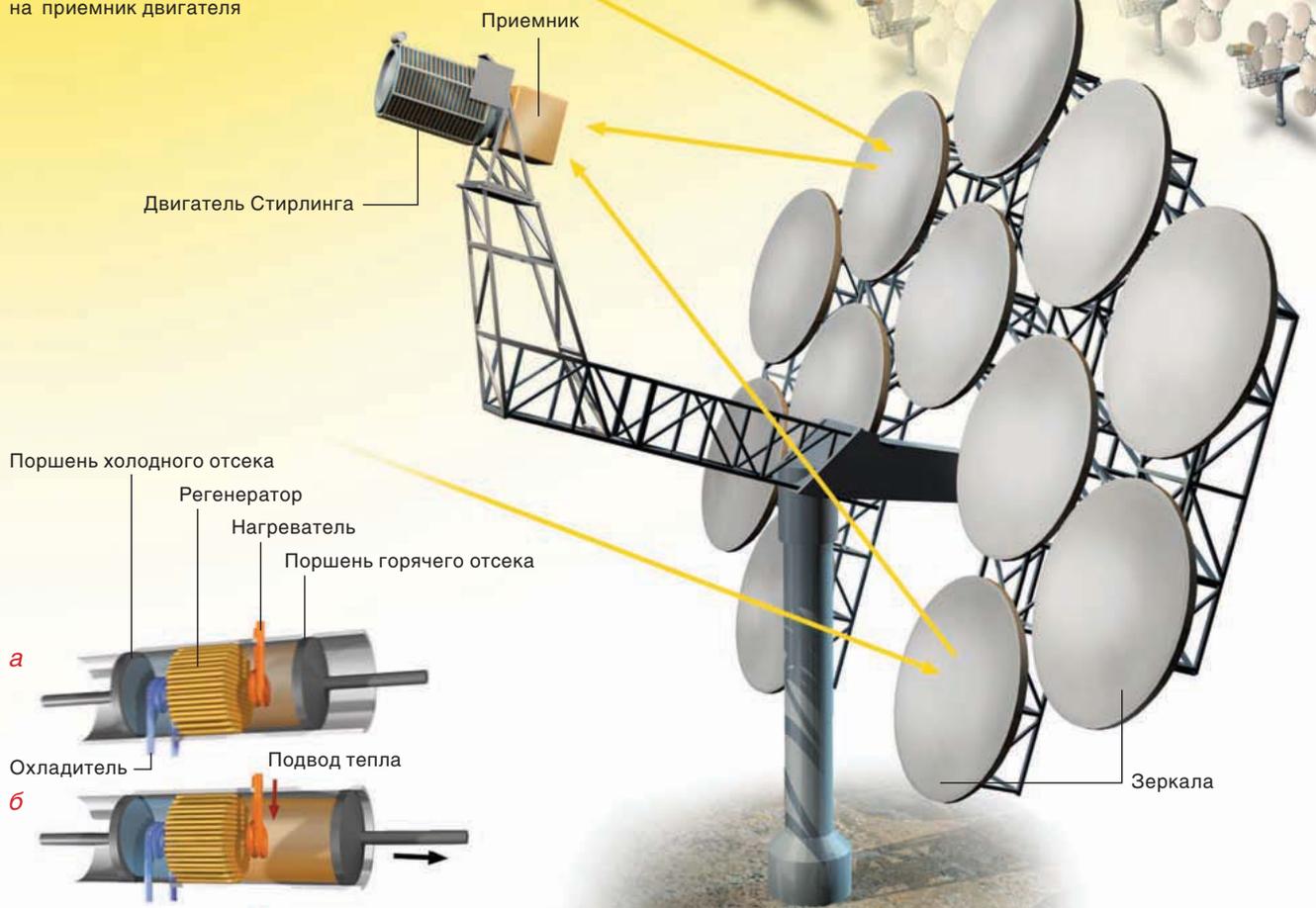
Дэниел Камен (Daniel Kammen) — почетный профессор Калифорнийского университета в Беркли, член группы по энергетике и ресурсам. Основатель Лаборатории возобновляемых источников энергии, член совета директоров Института окружающей среды в Беркли

ТЫСЯЧИ ЗЕРКАЛ

С помощью солнечных тепловых систем, когда-то использовавшихся для обогрева жилых домов и производственных помещений, можно получать и электричество. Они поглощают тепловую энергию Солнца и требуют дорогостоящих солнечных батарей

АККУМУЛЯТОРЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Тепловая установка, получающая энергию от Солнца, состоит из тысяч аккумуляторов солнечной энергии, передающих тепло двигателю Стирлинга, который преобразует его в электричество. Зеркальные тарелки фокусируют отражаемый солнечный свет на приемник двигателя



ДВИГАТЕЛЬ СТИРЛИНГА

Современный двигатель Стирлинга работает по замкнутому регенеративному циклу, состоящему из чередующихся изотермических и изохорических процессов. Рабочее тело (гелий или водород) находится в замкнутом пространстве, разделенном на горячий (оранжевый цвет) и холодный (синий цвет) отсеки (а), которые отделены друг от друга регенератором, поддерживающим между ними определенную разность температур. Солнечная энергия, поступающая от приемника, нагревает газ в горячем отсеке, тот расширяется и толкает поршень в цилиндре двигателя вправо (б). Затем поршень изменяет направление своего движения и выталкивает газ в холодный отсек (в). Газ охлаждается, второй поршень сжимает его, и цикл повторяется снова (г). Возвратно-поступательное движение поршней преобразуется во вращение турбины генератора, который вырабатывает электрический ток

Оптимизм внушает возможность использования для производства этанола древесины, содержащей целлюлозу. При переработке кукурузы сжигается ископаемое

газов в атмосфере не прибавляется, поскольку они поглощаются теми же растениями, которые потом используются для производства этанола. Замена бензина биоло-

Его получают путем газификации биомассы — нагревания органического материала до температуры, достаточной для образования водорода и оксида углерода с последующим получением насыщенных углеводов по методу Фишера-Тропша (его изобрели немецкие инженеры во время Второй мировой войны для получения моторного топлива). Такая технология, практически не вызывающая повышения уровня парниковых газов в атмосфере, внедряется сейчас нефтяным гигантом *Royal Dutch/Shell*.

Общая мощность, вырабатываемая всеми ветровыми генераторами — 600 ГВт
Доля электроэнергии — 0,5%
Удешевление 1 кВт·ч «ветровой» энергии за счет налоговых льгот — 1,9 цента

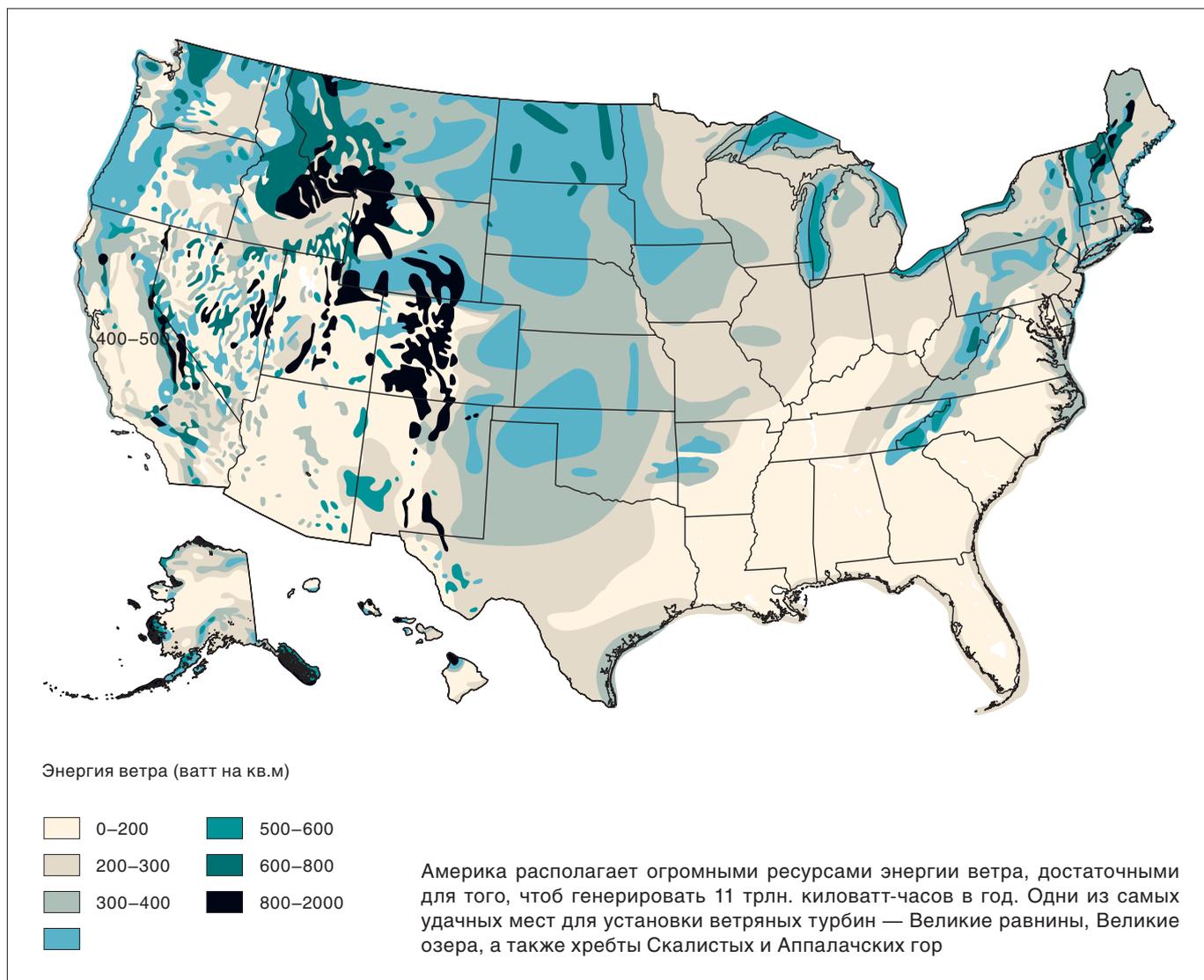
топливо, что необходимо для поддержания нужной температуры в биореакторе. В альтернативном случае используют лигнин — не участвующую в брожении компоненту органического материала, при сжигании которой парниковых

гическим топливом, получаемым при переработке целлюлозы, может привести к уменьшению вредных выбросов на 90%.

Еще одним перспективным направлением является использование т.н. «зеленого» дизельного топлива.

Без инвестиций в науку не обойтись

Все перечисленные направления энергетики переживают сейчас переломный момент. И уровень инве-



ГИБРИДНЫЕ АВТОМОБИЛИ С ПОДЗАРЯДКОЙ

Экологические преимущества биотоплива особенно видны в двигателях гибридных автомобилей с подзарядкой (*plug-in hybrid electric vehicles, PHEV*). В подобных транспортных средствах, как и в большинстве комбинированных автомобилей, двигатель внутреннего сгорания совмещен с мотором, работающим от аккумулятора, что позволяет существенно уменьшать расход топлива. Однако автомобили *PHEV* оснащены аккумулятором большей емкости, который можно заряжать от обычной электросети. На таких машинах можно совершать небольшие поездки на «чистом» электричестве, подключая бензиновый двигатель лишь в случае разрядки аккумулятора. Подобная технология существенно снижает расход бензина: если обычный седан тратит 9 л топлива на 100 км, а гибриды типа *Toyota Prius* — 5,4 л на 100 км, то для *PHEV* достаточно всего 3,4–1,7 л на 100 км. Расход топлива можно снизить еще больше, если в качестве горючего использовать такое биотопливо, как *E85* — смесь бензина (15%) и этанола (85%). Если бы в один прекрасный день весь автотранспорт США перешел на *PHEV*, то потребление нефти в стране сократилось бы более чем на 70%, что не только полностью исключило бы зависимость от ее импорта, но и способствовало бы сохранению климатического равновесия



на Земле. Вредное влияние на окружающую среду ограничилось бы несколькими тысячами электростанций, а не сотнями миллионов автомобилей. И тогда все усилия по защите экологии можно было бы направить на снижение выбросов парниковых газов при генерации электроэнергии.

Переход на *PHEV* способствовал бы также оздоровлению автомобильной промышленности США, тем более что выпускаемые ею гибридные средства передвижения гораздо более эффективны, чем их японские аналоги без подзарядки. В выигрыше окажется и электроэнергетика страны. Большинство владельцев *PHEV* будут заряжать батареи ночью по дешевому тарифу, сглаживая тем самым суточные колебания напряжения в сети. Например, в Калифорнии замена 20 млн. обычных автомобилей на *PHEV* практически сравняет дневное и ночное потребление энергии, что оптимизирует работу электростанций, функционирующих по ночам вхолостую.

Не стоит воспринимать *PHEV* как экзотический транспорт далекого будущего. Компания *Daimler-Chrysler* уже представила прототип такого автомобиля на базе микроавтобуса *Mercedes-Benz Sprinter Van*, который потребляет на 40% меньше топлива, чем обычная модель.

стиций, и состояние рынка таковы, что альтернативные технологии, еще недавно считавшиеся малоперспективными, могут стать основными поставщиками энергии. Многие страны предпринимают активные действия по их выведению на мировые рынки, что выгодно по целому

В США 20 штатов приняли законы, устанавливающие минимальный объем электроэнергии, которая должна вырабатываться с использованием альтернативных технологий. Германия планирует, что к 2020 г. 20% электроэнергии будет получаться за счет безопасных энергоносителей,

зависимостью». Нам повезло, что есть готовые способы изменить положение вещей без ущерба как для экономики, так и для экологии. Однако беда в том, что за последние 25 лет государственные и частные вложения в научно-технический сектор энергетики существенно сократились. Так, в США за период с 1980 по 2005 г. их доля в общем объеме инвестирования отрасли упала с 10 до 2%. Если в начале 1980-х гг. энергетические компании вкладывали в перспективные разработки больше средств, чем фармацевтические, то сегодня — на порядок меньше. Призывы выделять больше средств на научные изыскания в области энергетики звучали неоднократно. И Советательный комитет по науке и технике при Президенте США, и Национальная комиссия по энергетической политике рекомендовали вдвое увеличить ассигнования в данную сферу. Но и таких мер может оказаться ▶

Количество этанола, произведенного в США в 2005 г. — 16,2 млрд. л.
Доля объема всего произведенного автомобильного топлива — 2,8%
Субсидии, получаемые ежегодно производителями этанола — \$2 млрд.

ряду причин. Во-первых, происходит диверсификация энергетики, во-вторых, появляются новые отрасли промышленности и дополнительные рабочие места, в-третьих, уменьшается нагрузка на окружающую среду.

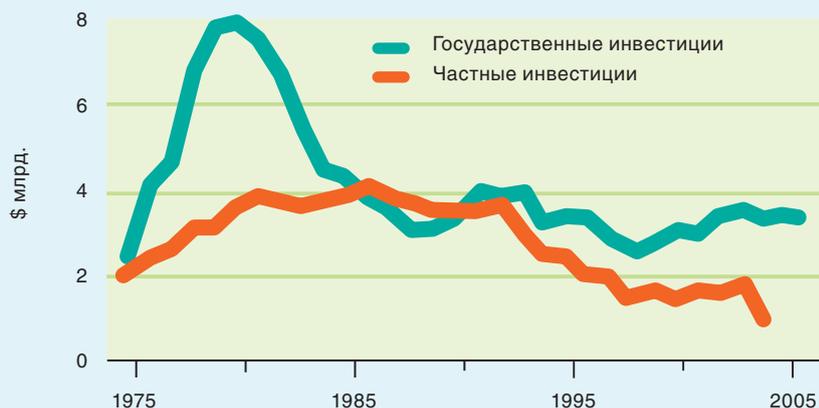
лей, а Швеция собирается вообще отказаться от ископаемого топлива.

Даже президент США Джордж Буш, не разделяющий концепцию глобального потепления, признал, что Америка страдает «нефтяной

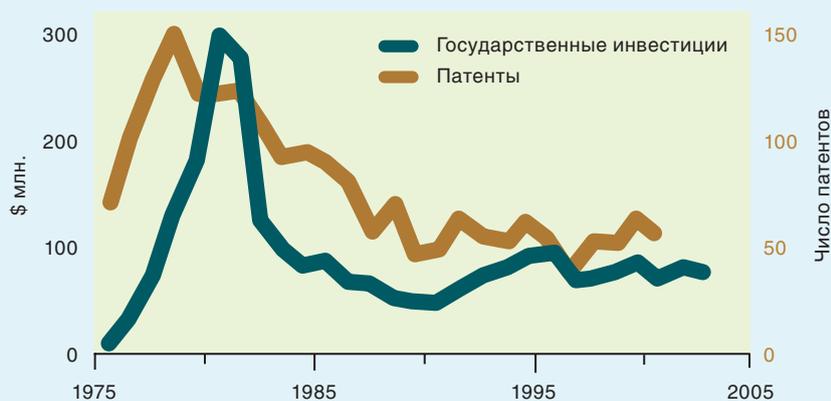
ИНВЕСТИЦИИ В НАУКУ

Объем вложений в научно-технический сектор энергетики в США постоянно сокращается с момента его пика в 1980 г. Исследования патентной активности показывают, что недостаток финансирования замедлил развитие технологий добычи чистой энергии из возобновляемых источников. Например, количество запатентованных изобретений в сфере преобразования энергии ветра и солнца в электроэнергию резко снизилось, когда прекратились инвестиции в эти области

ВЛОЖЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СЕКТОР



СОКРАЩЕНИЕ ВЛОЖЕНИЙ В ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГЕТИКУ...



...И В ВЕТРОЭНЕРГЕТИКУ



Объемы инвестиций приведены в долларах по курсу 2002 г.

недостаточно. По оценкам специалистов, на стабилизацию уровня диоксида углерода в атмосфере и внедрение новых разработок государство должно выделять от \$15 до \$30 млрд. в год, т.е. в 5–10 раз больше, чем сегодня.

Ключевым моментом в создании эффективной и безопасной энергетики должно стать построение рыночных схем, увязывающих цену на ископаемое топливо с тем уроном, которое наносит его сжигание окружающей среде, и теми убытками, которые терпит общество. Речь идет о дополнительных затратах на здравоохранение, на разведку новых месторождений, охрану нефте-, газодобывающих и перерабатывающих предприятий, устранение негативных последствий глобального потепления и т.д. Чтобы стимулировать переход на возобновляемые источники энергии, проще всего ввести систему налогов на выбросы углерода и поощрений при их снижении. Подобные меры с успехом применялись федеральными властями в отношении других веществ, загрязняющих атмосферу, и уже взяты на вооружение в некоторых штатах в отношении парниковых газов.

Осознание угрозы изменения климата могло бы стать движущей силой технологической революции, избавить мир от нефтяной зависимости и способствовать переходу на эффективные альтернативные источники энергии. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Reversing the Incredible Shrinking Energy R&D Budget. D.M. Kammen and G.F. Nemet in Issues in Science and Technology, pages 84–88; Fall 2005.
- Science and Engineering Research That Values the Planet. A. Jacobson and D.M. Kammen in The Bridge, Vol. 35, No. 4, pages 11–17; Winter 2005.
- Renewables 2005: Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Worldwatch Institute, 2005.
- All these papers are available online at <http://rael.berkeley.edu/papers.html>

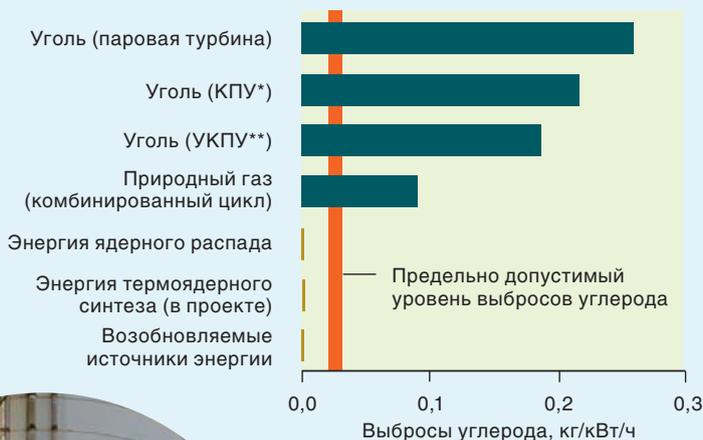
НАИМЕНЕЕ ВРЕДНОЕ ИСКОПАЕМОЕ ТОПЛИВО

Переход на возобновляемые источники энергии мог бы значительно снизить уровень парниковых газов в атмосфере. Но есть и еще одна возможность — использование природного газа вместо угля. Обычные угольные теплоэлектростанции выбрасывают в атмосферу 0,25 кг углерода на каждый киловатт-час выработанной электроэнергии (более современные — на 20% меньше). Но в природном газе (CH_4) содержится больше водорода и меньше углерода по сравнению с углем. Поэтому тепловые электростанции с комбинированным циклом, работающие на природном газе, выбрасывают только 0,1 кг углерода на 1 кВт·ч (график справа).

К сожалению, резкий рост потребления газа привел к его существенному подорожанию. Сегодня газ обеспечивает получение почти 20% электроэнергии в США, его цена выросла с 1997 г. в 2,5 раза. В стране даже заговорили о «газовом кризисе». Первое, что предложили Конгресс и Белый Дом, — увеличение его добычи. Газодобывающие предприятия получили большие субсидии, было также предложено увеличить импорт сжиженного природного газа. Последняя мера, однако, несколько не снижает степени энергетической зависимости США от других стран ОПЕК, поскольку они же служат основными поставщиками голубого топлива. Кроме того, даже если полностью отказаться от нефти и перейти на газ, то все равно не удастся

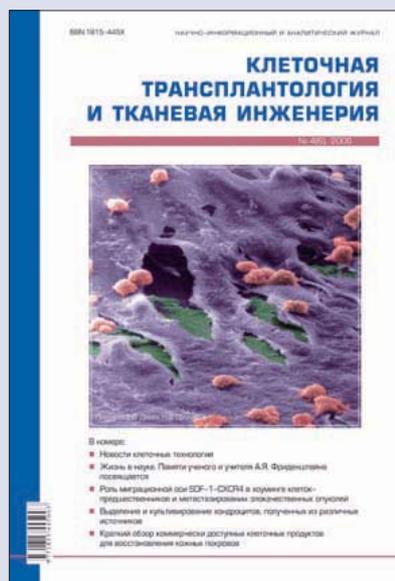


ВЫБРОСЫ УГЛЕРОДА РАЗНЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ



* Комбинированная парогазовая установка
** Усовершенствованная комбинированная парогазовая установка

удержать концентрацию углерода в атмосфере ниже критического порога в 500 м.д. Переход на новые технологии в энергетике — более быстрый, экологичный и менее затратный способ, чем открытие новых газовых месторождений. Если учесть стоимость их разработки, эксплуатации и поддержания инфраструктуры, то окажется, что дешевле получать электричество с помощью ветряков.



Журнал «Клеточная трансплантология и тканевая инженерия» публикует научные материалы и обзоры зарубежных и российских публикаций, новости законодательства, анонсы предстоящих и обзоры состоявшихся научных конференций, симпозиумов и семинаров в области клеточных технологий. Редакционный совет журнала возглавляет президент РАМН проф. М.И. Давыдов. Журнал входит в перечень изданий ВАК.

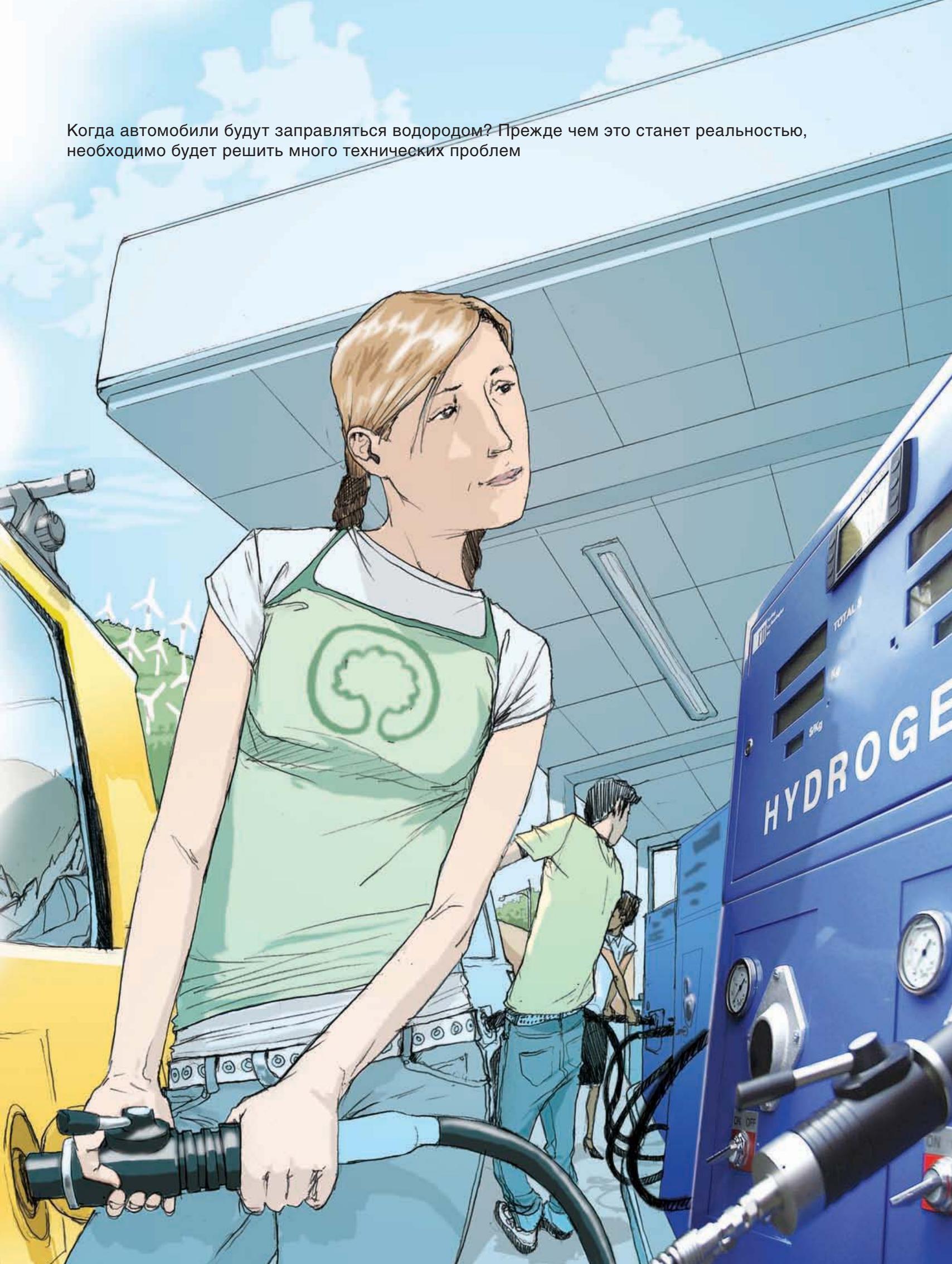
Приглашаем авторов к сотрудничеству.

Открыта подписка на 2007 год. Подписаться можно:
■ через редакцию — тел.: (495) 931-9894, e-mail: podpiska@celltranspl.ru, redaktor@celltranspl.ru;
■ через Интернет — www.celltranspl.ru;
■ через каталог Роспечати — подписной индекс 20092 (полугодовой), 36380 (годовой);

■ через объединенный каталог «Пресса России» — подписной индекс 42083. Стоимость подписки на год (4 номера) через редакцию составляет 1000 руб. Полнотекстовый доступ к электронной версии журнала размещен на www.e-library.ru и осуществляется по подписке.

Адрес редакции: 129110, г. Москва, Олимпийский проспект, д.18/1, оф. 3057, тел./факс: (495) 931-9894, e-mail redaktor@celltranspl.ru

Когда автомобили будут заправляться водородом? Прежде чем это станет реальностью, необходимо будет решить много технических проблем



Джоан Огден

БОЛЬШИЕ Надежды

Использование водородного топлива приведет к сокращению объемов потребления нефти и выбросов соединений углерода в атмосферу

Одной из наиболее актуальных и сложных задач, стоящих перед учеными в ближайшие годы, остается создание двигателей для транспортных средств, использующих в качестве топлива водород. В наши дни количество автомобилей, ежедневно загрязняющих окружающую среду, достигает в мире 705 млн., а к 2050 г. их будет в 3 раза больше, прежде всего, за счет Китая, Индии и других развивающихся стран. С учетом того, что 97% топлива для транспорта получают из нефти, необходимо сократить объемы ее потребления, чтобы снизить выбросы соединений углерода.

Но даже если конструкторы смогут создать автомобили с минимальным потреблением нефтепродуктов, и будут введены ограничительные меры для использования транспорта, достигнуть желаемых результатов вряд ли удастся. Следовательно, для того чтобы кардинально изменить ситуацию, необходимо не только создавать экономичные двигатели, но и перейти к новым видам

горючего, которое можно получить из растительной массы и угля. В ближайшее десятилетие наибольший интерес будут представлять электромобили и водородные транспортные средства с экологически чистыми силовыми установками.

Водород можно получать методом электролиза воды с использованием возобновляемых источников энергии, а также из природного газа и угля. Прежде чем перейти к широкому использованию водорода, следует решить много сложных задач. Производители автомобилей должны представить на рынок модель, которая сможет заинтересовать покупателя. Энергетическим компаниям следует создать мощности по производству водорода и сеть заправочных станций.

Однако низкая емкость аккумуляторных батарей у электромобиля (что делает его пробег на одной зарядке существенно меньше, чем у автомобиля с двигателем внутреннего сгорания) препятствует их широкому внедрению в производство. Водородные транспортные ➤

средства представляются более перспективными, т.к. они намного экономичнее своих собратьев, из выхлопной трубы которых вылетает двуокись углерода, а не только водяной пар. Несмотря на очевидные преимущества, переход на водородное топливо не решит сразу все проблемы охраны окружающей среды и займет много времени. Это будет не спринтерская гонка, а скорее марафон на длинную дистанцию.

Перспективы топливных батарей

За последнее десятилетие на научные разработки по водородной тематике 17 стран потратили не один миллиард долларов. В США и Канаде действуют региональные программы по данному направлению,

изводители автомобилей надеются, что новые модели будут пользоваться спросом у потребителей, т.к. их отличает легкость в управлении и высокая динамичность. При замене двигателя внутреннего сгорания на электромотор и топливную батарею конструкции станут проще, что позволит создавать более функциональные и недорогие машины. Владельцы получают не только автомобиль, но и передвижной источник энергии, который можно использовать для различных целей. Во время пиковой нагрузки в электрических цепях, когда стоимость киловатта высока, топливный элемент автомобиля может питать энергией дом или офис своего владельца.

На пути широкого использования водородных автомобилей пока стоят технические и финансовые труд-

5 лет появится мембрана с ресурсом 4 тыс. часов.

Сегодня производство такого автомобиля подразумевает использование ручной сборки и обходится в \$1 млн. При переходе к серийному производству цена силового агрегата такой машины снизится до \$6–10 тыс. Потребитель должен потратить \$125 за кВт мощности, т.е. в четыре раза больше, чем в двигателе внутреннего сгорания (\$30 за единицу мощности). Для того чтобы водородные силовые агрегаты стали конкурентоспособными, потребуются новые материалы и технологии. Изменится и конструкция самого автомобиля. По мнению специалистов *General Motors*, уменьшение количества традиционных агрегатов и узлов может привести к снижению стоимости.

Еще предстоит решить, как поместить в бак такое количество водорода, чтобы его хватило на 450 км пути. Если заправлять его в газобразном состоянии, то потребуется большая емкость, способная выдерживать высокое давление. В жидком виде водород займет гораздо меньше места, но его температура должна быть -253°C . Есть еще один способ — использовать металлгидридные системы, которые адсорбируют водород под давлением, и тогда вес бака может составить 300 кг. В 2005 г. компании *General Motors*, *Honda* и *Toyota* продемонстрировали прототип автомобиля, преодолевшего на одной заправке 450 км, при этом давление в баке было 70 мегапаскалей.

Одним из главных остается вопрос безопасности данного вида топлива. С одной стороны, водород огнеопасен, но температура его сгорания выше, чем у бензина, и время дисперсии намного меньше, что снижает риск возгорания. С другой стороны, воспламенение может произойти в широком диапазоне концентраций, и процесс горения сложно зафиксировать визуально. Уже сегодня нефтеперегонные, химические и другие предприятия производят большие объемы этого газа для производственных нужд, ►

Переход на водородное топливо будет не спринтерской гонкой, а скорее марафоном на длинную дистанцию

а компании *Honda*, *Toyota* и *General Motors* уже планируют внедрить коммерчески выгодный автомобиль на топливных батареях в 2010–2020 гг. Автопроизводители совместно с топливными гигантами *Shell*, *Chevron* и *BP* работают над созданием парка водородных машин и инфраструктуры для них. Первые водородные заправочные станции уже строятся в США, в Европе и Китае.

Такой высокий интерес к водородным системам объясняется не только бережным отношением к окружающей среде, но и тем, что они будут способствовать развитию передовых технологий. Про-

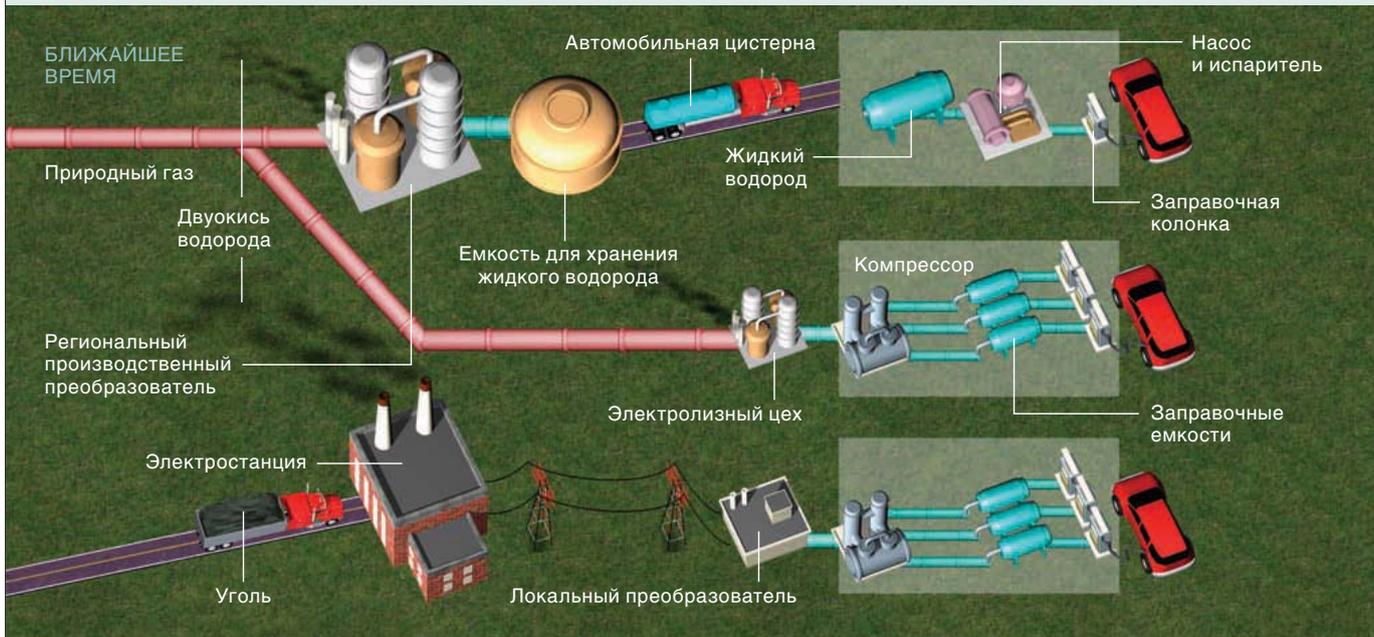
ности. Основным элементом топливной батареи является мембрана, отделяющая водород от кислорода. На одной ее стороне в присутствии катализатора происходит разделение атома водорода на электроны и протоны, которые, проходя через мембрану, соединяются с атомами кислорода. Конструкторам удалось создать небольшую и легкую мембрану, удовлетворяющую потребителей. Главная же проблема сегодня — ее ресурс не превышает 2 тыс. часов, а для коммерческой эксплуатации он должен составлять 5 тыс. В 2005 г. корпорация ЗМ, больше известная как производитель клейкой ленты, заявила, что в ближайшие

ОБЗОР

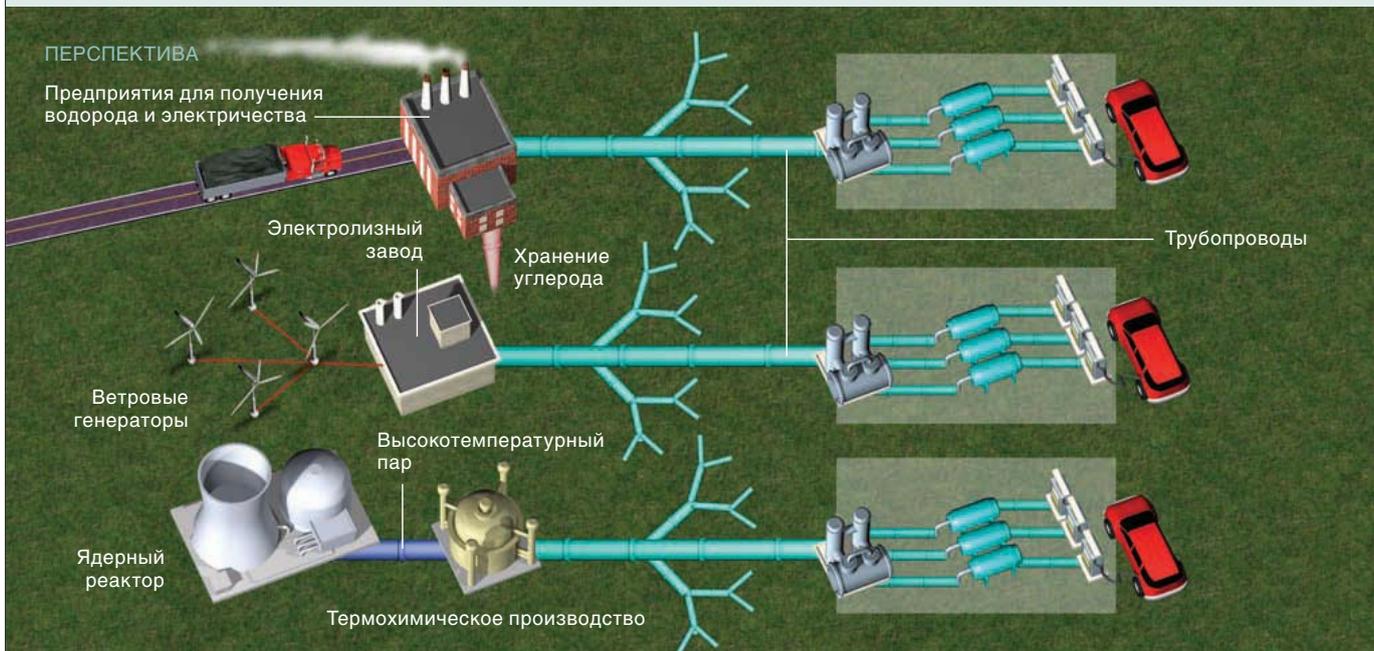
- Производство автомобилей на водородном топливе станет коммерчески выгодным, как только автомобильные компании создадут безопасные и недорогие модели с большим пробегом на одной заправке.
- Энергетические компании должны наладить производство водородного топлива, сопоставимого по цене с бензином.

ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА

Существует несколько технологий производства и доставки водородного топлива. В ближайшие годы для его производства будет использоваться природный газ. Полученный на специализированных предприятиях, он будет доставляться на заправочные станции автомобильным транспортом. В тех случаях, когда это целесообразно, мощности для получения водорода могут находиться непосредственно на заправочной станции и для его производства использовать воду и электроэнергию. На этой стадии развития мы не можем существенно сократить выбросы в атмосферу парникового газа, т.к. для получения электроэнергии используется углеродное топливо



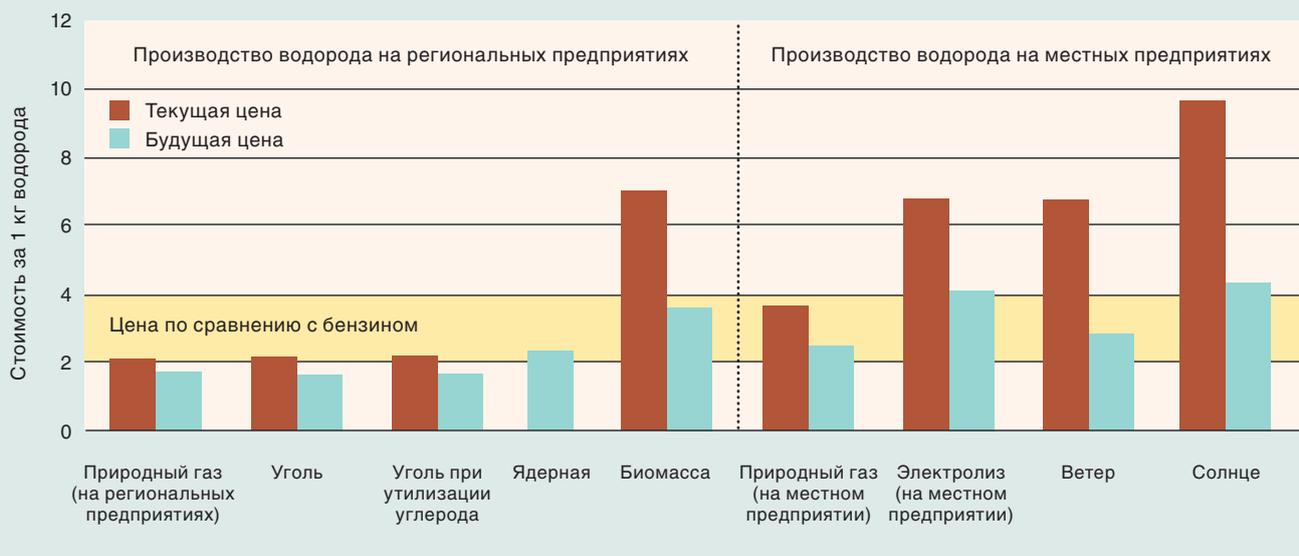
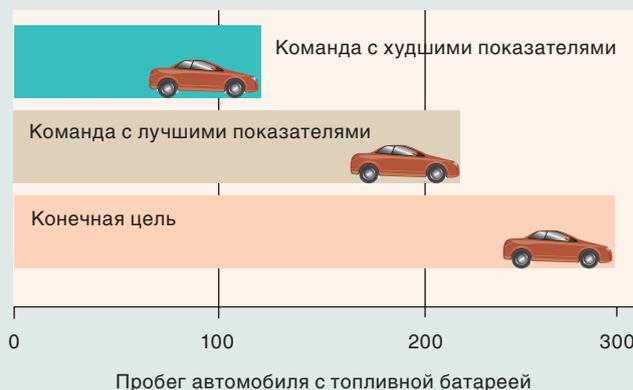
В перспективе законодательство должно создать преференции для тех энергетических компаний, которые не загрязняют атмосферу. В будущем производить водород можно будет из угля, а получаемый при этом углекислый газ целесообразно накапливать в хранилищах глубоко под землей. Ветровые генераторы и другие возобновляемые источники энергии следует широко использовать при получении электричества. Высокотемпературный пар из контура ядерного реактора может использоваться в термохимической реакции получения водорода из воды



DON FOLEY

ОГРАНИЧЕНИЕ ДЛЯ ВОДОРОДА

Основным недостатком водородного автомобиля с топливным элементом остается малый пробег на одной заправке. Сотрудники лаборатории возобновляемых источников энергии Министерства энергетики США исследовали пробег 59 водородных автомобилей, представленных четырьмя промышленными группами. Ни один из представленных экземпляров не смог преодолеть рубеж в 480 км, установленный для коммерческих автомобилей. Еще одной проблемой является высокая стоимость топлива. Использование возобновляемых источников энергии, таких как ветер, солнце и биомасса, для получения водорода слишком дорого (внизу)



и до сих пор на них не было серьезных аварий. Министерство энергетики США приступило к разработке нормативных документов по

ОБ АВТОРЕ

Джоан Огден (Joan Ogden) — профессор Калифорнийского университета в Дэвисе, одна из руководителей программы «Водородный путь» (*Hydrogen Pathways Program*) в Институте транспортных исследований. Круг ее научных интересов лежит в области технических и экономических исследований новых источников энергии. В 1977 г. Огден получила степень доктора в Мерилендском университете за исследования в области теоретической физики.

использованию нового топлива для транспортных средств.

Водородные автомобили появятся на рынке не ранее, чем через 15 лет. Обычно новые технологии проходят стадию доработки, после чего появляется пилотный образец. И только затем идет их внедрение в серийное производство. Гибридный силовой агрегат первоначально использовался на небольших седанах и лишь позже на внедорожниках. Цены на них начинают падать, по мере того как они будут входить в серии.

Фундаментальные исследования гибридного силового агрегата начались в 70-х гг. XX в., и только в 1993 г. *Toyota* выпустила модель *Prius*. Продажи гибридных автомобилей начались в 1997 г. и спустя 8 лет они составляют в США 1,2%. Так что ждать серийного внедрения

водородных автомобилей нам предстоит не менее 15 лет.

Получение водорода

Основной объем водорода получают из газа или нефти. На нефтеперерабатывающих заводах он используется в технологическом цикле производства бензина, а на химических предприятиях — для получения аммиака. На его производство тратится 2% вырабатываемой в мире энергии. Основной объем водорода потребляется на месте его производства и лишь 5–10% перевозится транспортом или прокачивается по трубопроводу. Мощностей существующей системы транспортировки данного вида топлива в США хватило бы для заправки нескольких миллионов машин, и подобная инфраструктура может стать

основой для развития водородной экономики.

При использовании водорода в топливных батареях автомобиля суммарный выброс парникового газа в пересчете на 1 км пути составит 110 г, для гибрида — 150 г, а для машины с двигателем внутреннего сгорания — 195 г.

Производство водородного топлива ведет к выбросу парниковых газов. Одним из вариантов получения дешевого топлива без нанесения вреда окружающей среде может быть процесс получения водорода из углеводородов и размещение двуокиси углерода в подземных хранилищах или в океане. Производить водород можно и из растительной массы, когда двуокись углерода будет поглощаться растениями, и баланс не нарушится. Экологически чистое топливо вырабатывается и в процессе электролиза воды — тогда источниками энергии будут ветровые генераторы и солнечные батареи.

Несмотря на то, что два последних метода получения водорода вполне

доступны для реализации, цены на этот вид топлива высоки и составят \$6–10 за 1 кг. При этом энергетическая емкость единицы водорода и бензина примерно одинакова, но КПД автомобиля на водороде гораздо выше. По данным Национального исследовательского совета и Национальной энергетической академии, по мере совершенствования технологий и роста потребле-

может привести к катастрофическим последствиям.

Новая энергетическая инфраструктура

Располагая огромными запасами возобновляемых источников энергии, таких как ветер, солнце и растительная масса, США могут производить огромное количество дешевого водорода. Проблема заключается

По мнению специалистов Всемирного энергетического совета, переход к водородной экономике в ближайшие 30 лет обойдется США в \$1,3 трлн.

ния цена за 1 кг может снизиться до \$2–4.

Источником энергии для получения водорода из воды могут стать атомные станции, поскольку термохимическое расщепление молекулы воды можно производить за счет энергии, выделяемой реактором, но в этом случае любая ошибка

в его доставке потребителю. В стране уже построено 100 газозаправочных станций, в то время как бензозаправочных насчитывается 170 тыс.

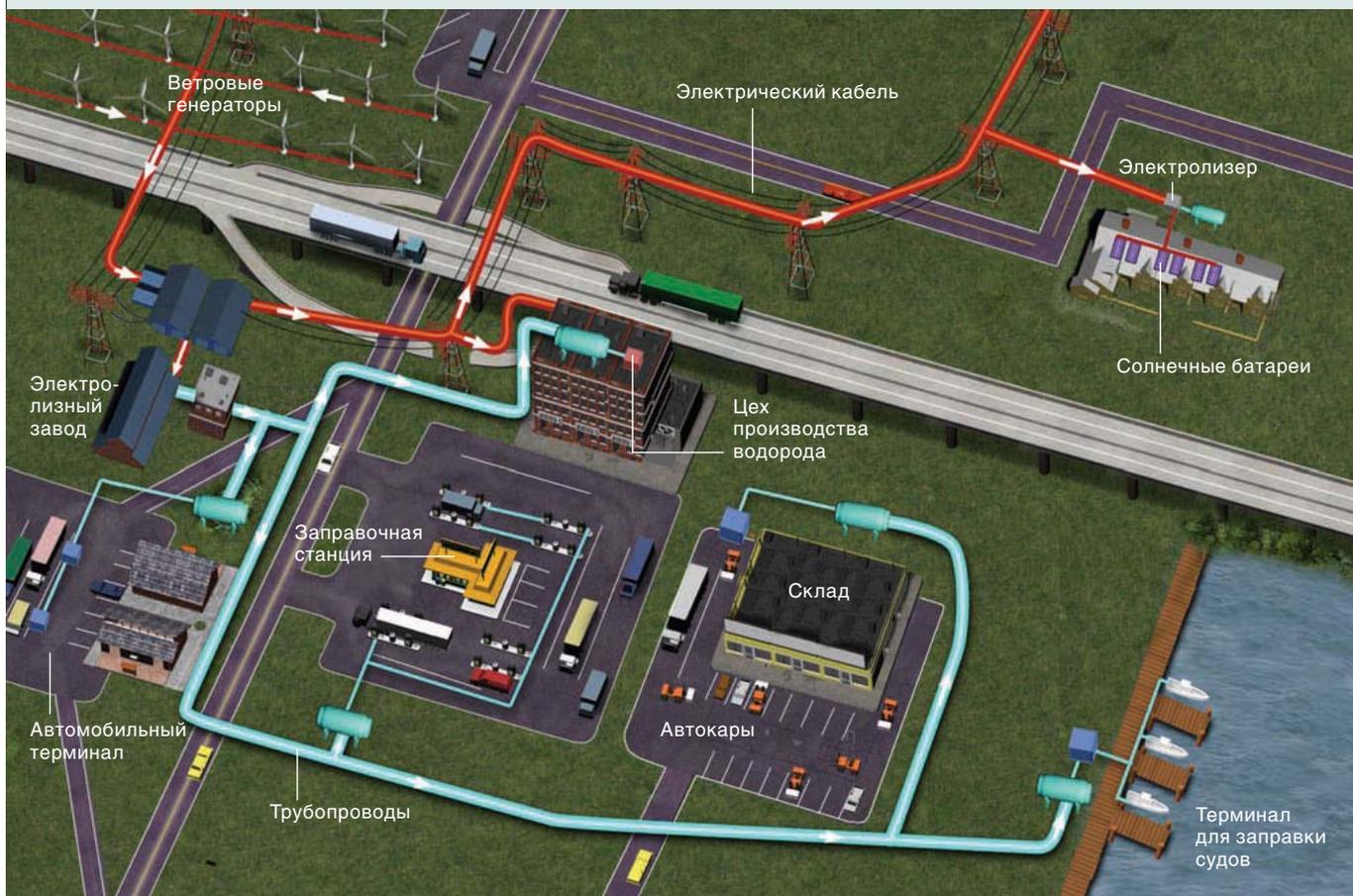
Создание инфраструктуры повлекло за собой так называемую проблему яйца и курицы. Потребители не будут покупать водородные ▶



Основным преимуществом прототипа водородного автомобиля, предложенного компанией *General Motors*, является просторный салон, из которого убраны почти все элементы управления и контроля

МНОГОЦЕЛЕВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОДА

Завод по производству водорода будет обслуживать пригороды, т.к. транспортировка данного вида топлива на большие расстояния очень дорога. Первыми потребителями водородного топлива станут небольшие грузовики и электрокары. Топливные элементы будут обеспечивать энергией морские суда и здания. Владельцы водородных автомобилей могут пополнять запасы топлива на заправочных станциях и даже получать водород дома



автомобили до тех пор, пока не появится сеть заправочных станций, а их не будут строить, поскольку отсутствует спрос. Несмотря на прогнозы Национального исследовательского совета, утверждающего, что по мере формирования сети заправочных станций этот вид топлива сможет конкурировать с бензином, в переходный период его стоимость будет высока.

Если сконцентрировать внимание на автомобилях, не требующих разветвленной сети заправочных станций, то можно разорвать этот замкнутый круг. Корабли и локомотивы могут также использовать водородное топливо, не загрязняющее атмосферу. Топливные элементы могут стать источником энергии

для погрузчиков, скутеров, их можно применять для энергоснабжения полицейских участков, военных баз, т.е. там, где требуются бесперебойные источники. Этот на первый взгляд небольшой рынок будет способствовать падению цены на водород и заставит энергетические компании развивать сеть заправочных станций.

Существенного сокращения объемов потребления бензина можно добиться только в том случае, если водород будет широко использоваться пассажирскими транспортными средствами. Ученые из Калифорнийского университета в Дэвисе пришли к выводу, что для широкого использования водорода необходимо оснастить топливным

оборудованием 5–10% городских заправочных станций. По расчетам специалистов компании *General Motors* для заправки 1 млн. американских автомобилей новым топливом потребуется 12 тыс. заправочных станций, каждая из которых стоит \$1 млн. Создание инфраструктуры для обслуживания 100 млн. автомобилей может стоить нескольких миллиардов долларов, и на ее строительство уйдет несколько десятков лет. В эти затраты войдут также мощности для производства, транспортировки и хранения топлива.

По мнению специалистов Всемирного энергетического совета, переход к водородной экономике обойдется США в ближайшие 30 лет в \$1,3 триллиона. Половина этих

средств будет вложена в экономику нефтедобывающих стран. Около \$300 млн. уйдут на создание терминалов для перекачки нефти, трубопроводов и танкерного флота. Новые технологии стоят дорого, но таковы законы бизнеса.

Существует несколько способов доставки топлива конечному потребителю. Водород можно производить на крупных предприятиях и далее транспортировать его в жидком или газообразном состо-

могут полагаться на автомобильную доставку или свои мощности по производству водорода, в то время как крупные города будут получать его по трубопроводам.

Безусловно, не обойтись без определенных финансовых рисков. Если рынок потребления будет расти медленно, то энергетические компании не смогут вернуть деньги, вложенные в инфраструктуру. В целях минимизации рисков возможно создание энергетических мощностей для

сети таких заправочных станции могут стать южная Калифорния и северо-восток.

В ближайшие годы основным сырьем для получения водородного топлива станет природный газ. Энергия для получения топлива должна поступать из экологически чистых источников. Если предположить, что к 2025 г. водородное топливо станет основным источником энергии для автомобилей, то уже сейчас правительству следует задуматься над тем, что его производство не должно загрязнять окружающую среду. Основные усилия надо сосредоточить на развитии технологий использования энергии ветра и солнца и утилизации углерода.

Несмотря на то, что переход к эксплуатации водородных автомобилей может занять несколько десятилетий, этот процесс будет способствовать защите окружающей среды и снизит зависимость американской экономики от импортных поставок нефти. ■

Если к 2025 г. водородное топливо станет основным источником энергии для автомобилей, то уже сейчас следует задуматься над тем, что его производство не должно загрязнять окружающую среду

янии цистернами или через трубопроводы до заправочных станций. Кроме того, его можно получать по месту потребления — для этого потребуются природный газ и источник электроэнергии (рис. на стр. 71). На начальной стадии вступления в эру водородной экономики сеть заправочных станций будет мала, поэтому целесообразно производить топливо непосредственно на них. Как только количество автомобилей с топливными элементами в крупном городе достигнет уровня 25% от общего числа, станет возможным перекачивать топливо по трубопроводу. Создание крупных предприятий по производству водородного топлива позволит решить вопрос утилизации углерода.

По своим свойствам новое топливо ближе к электричеству, нежели к бензину. Поскольку хранение и транспортировка водорода по сравнению с последним обходится для энергетической компании дороже, очевидно, будут созданы крупные региональные предприятия. В каждом из них будет своя схема производства и потребления нового топлива. Небольшие населенные пункты и индустриальные районы

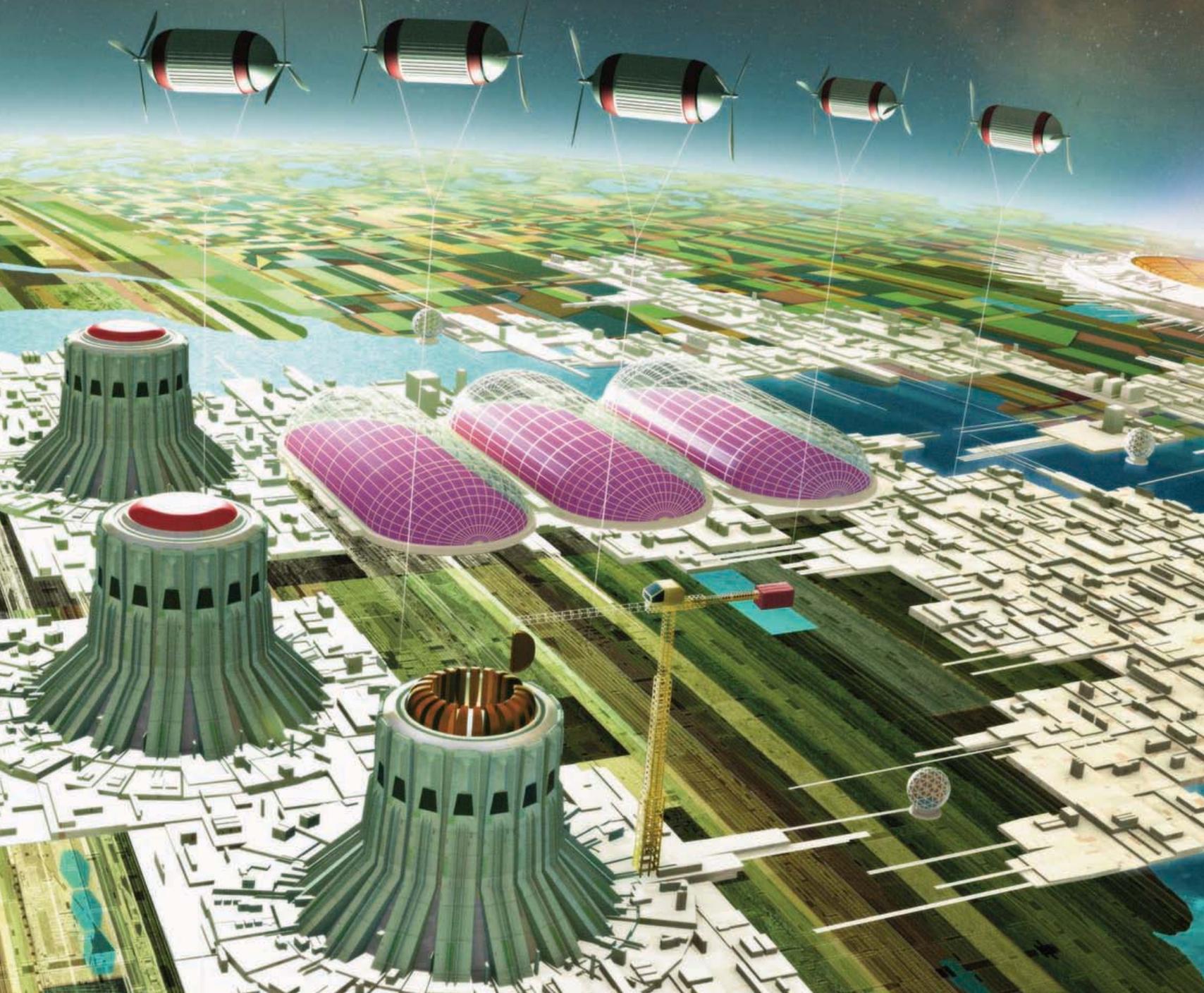
генерации электроэнергии и получения водородного топлива. В этом случае спрос на новое топливо может удовлетворяться тем небольшим автомобильным парком, который уже создается. На этом этапе нет необходимости вкладывать большие средства в строительство трубопроводов: доставку можно организовать автомобильным транспортом.

Первые шаги

Создание экологически чистого транспорта идет несколькими путями. Наиболее важное направление — экономия топлива. В ближайшие два десятилетия будут развиваться технологии производства гибридных автомобилей, совершенствоваться двигатели, что в итоге приведет к сокращению объемов потребления бензина. Водородное топливо и совершенствование топливных элементов внесут свою лепту в этот процесс, и можно ожидать, что энерговооруженность транспорта существенно возрастет. Сегодня в Калифорнии и в Европе уже создаются предприятия для производства водорода и заправки экспериментальных автомобилей. Ключевыми регионами в США для создания

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs. National Research Council and the National Academy of Engineering. National Academies Press, 2004. Доступно по адресу: www.nap.edu/catalog.php?record-id=10922-#toc
- The Hydrogen Energy Transition: Cutting Carbon from Transportation. Edited by Daniel Sperling and James S. Cannon. Elsevier, 2004.
- The Hype about Hydrogen: Fact and Fiction in the Race to Save the Climate. Joseph J. Romm. Island Press, 2005.
- Дополнительная информация о гибридных автомобилях доступна по адресам: <http://hydrogen.its.ucdavis.edu/>, www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/, www.h2mobility.org/index.html и www.iphe.net/NewAtlas/atlas.htm



Уэйт Гиббс

ЭНЕРГЕТИКА будущего

В конце XXI в. в качестве источников энергии будут использоваться термоядерные реакторы, генетически модифицированные микроорганизмы, производящие водород, высотные ветровые и орбитальные солнечные электростанции, а также приливные и волновые генераторы. Все они будут связаны глобальной сверхпроводящей суперсетью

Если повышение эффективности существующих технологий не поможет остановить глобальное потепление, спасут ли положение новые экологически чистые источники энергии? Пока рано на них рассчитывать, но сбрасывать их со счетов тоже нельзя

Чтобы и дальше наслаждаться образом жизни, к которому все мы так привыкли, человечеству придется начать технологический марафон, финишная черта которого едва различима сквозь дымку грядущих десятилетий. Роберт Соколов (Robert H. Socolow) и Стивен Пакала (Stephen W. Pacala) из Принстонского университета набросали стратегический план первых 50 лет борьбы за сокращение выбросов углекислого газа, столь необходимой после многих десятилетий необузданного загрязнения атмосферы. Своевременно и продуманно применяя существующие технологии, первых результатов можно добиться без ущерба для мировой экономики. Это так называемый план А.

Однако успех задуманного зависит от того, сможет ли общество использовать весь спектр технологий сокращения выбросов CO_2 , чтобы устранить заветные семь секторов, каждый из которых соответствует захоронению 25 млрд. т углекислого газа в подземных хранилищах. Любая отсрочка старта — и мы можем сойти с дистанции. Некоторые ученые полагают, что для стабилизации обстановки к 2056 г. человечеству придется сократить разрыв на 18 секторов, а не на 7, как предсказывают Соколов и Пакала в своих моделях, получивших широкую известность (см. в этом номере: Пакала С. и Соколов Р. Секторы газа).

Ошибочно полагать, что количество выбросов углекислого газа в атмосферу будет расти медленнее, чем объемы промышленного производства и энергопотребления, считает Мартин Хофферт (Martin I. Hoffert), физик из Нью-Йоркского университета. Поскольку нефть и газ дорожают, энергетика будет становиться все более «углеродной» из-за интенсивного использования каменного угля. «В США, Китае и Индии планируется строительство 850 угольных электростанций, а ведь ни одна из названных стран не подписала Киотский протокол, — замечает Хофферт. — К 2012 г. объемы выбросов из этих станций в 5 раз превысят

уменьшение, достигнутое благодаря Киотскому соглашению».

Даже если план А сработает, и нынешняя молодежь к выходу на пенсию завершит первый этап марафона, состязание будет выиграно лишь наполовину. В 2056 г. эстафета будет передана новому поколению, которому предстоит пройти следующую, более трудную часть забега и сократить объем выбросов углекислого газа в два раза по сравнению с 2016 г.

Рано или поздно мир осознает необходимость плана Б, заключающегося в разработке новых технологий, которые позволили бы получать 10–30 ТВт электроэнергии, не выбрасывая ни одной тонны углекислого газа. В научных кругах этот вопрос обсуждается с 1960-х гг., и сейчас настало время заняться им всерьез. «Если мы не начнем создавать инфраструктуру для революционного изменения энергетической системы, — предупреждает Хофферт, — то безнадежно опоздаем».

Но что именно мы должны создавать? Давайте рассмотрим несколько наиболее перспективных проектов, а также заманчивых, но, к сожалению, фантастических идей.

Термоядерный синтез

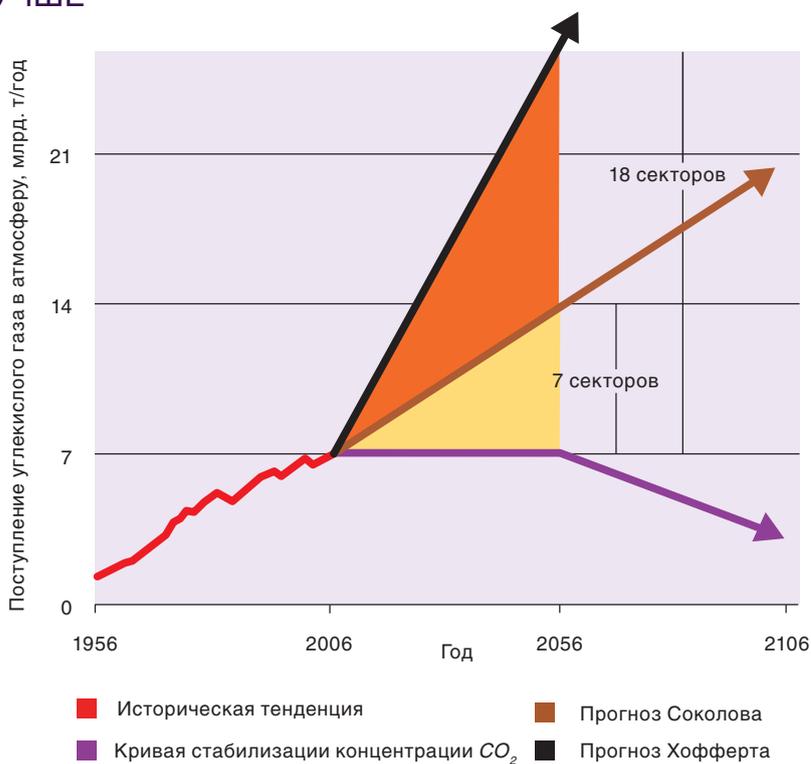
Физики мечтают о получении неограниченной энергии с минимальным количеством вредных отходов. Однако политики бледнеют, когда слышат, во что обойдутся первые киловатт-часы такой энергии

Реакторы термоядерного синтеза, в которых энергия выделяется не при делении ядер, а при их слиянии, по всем прогнозам являются лидерами энергетики будущего. С помощью гигантских сил, удерживающих нуклоны в ядре и дающих энергию Солнцу, термоядерные энергетические станции могли бы ежедневно давать гигаватты электроэнергии всего из нескольких килограммов термоядерного топлива. А топливо для них — изотопы водорода, которые можно получать из обычной морской воды и распространяемого в природе лития. Такой реактор не производил бы никаких ▶

ПЛАН Б: ЧЕМ РАНЬШЕ, ТЕМ ЛУЧШЕ

Чтобы стабилизировать концентрацию углекислого газа в атмосфере, необходимо в течение следующих 50 лет остановить увеличение объемов выброса CO_2 и удерживать их на одном уровне. Чтобы предотвратить катастрофическое глобальное потепление, необходимо устранить разрыв между желаемым и действительным. Физик Мартин Хофферт из Нью-Йоркского университета считает, что расхождение может расти намного быстрее, чем прогнозирует Роберт Соколов из Принстонского университета. Стандартный сценарий 7 секторов предполагает, что и энергопотребление на доллар ВВП, и количество выброшенного в атмосферу диоксида углерода на киловатт произведенной энергии будут постоянно уменьшаться. Однако Хофферт указывает, что Китай и Индия возвращаются к высокоуглеродной энергетике и вводят в эксплуатацию все новые угольные электростанции, что неизбежно приведет к увеличению количества выделяемого CO_2 на киловатт произведенной энергии. Это соотношение перестало уменьшаться и в США. Соколов признает, что проект 7 секторов предусматривает значительное увеличение эффективности энергетики и переход на возобновляемые источники энергии.

Так или иначе, революционные технологии понадобятся во второй половине XXI в., чтобы постепенно свести объем выбросов углекислого газа до нуля



парниковых газов, а также давал бы относительно мало низкорadioактивных отходов, которые стали бы безопасными всего через 100 лет. «Если на термоядерной электростанции произойдет авария, радиоактивное загрязнение уже на расстоянии 1 км от нее будет столь слабым, что даже не придется эвакуировать население», — говорит Фаррох Наджмабади (Farrokh Najmabadi), возглавляющий Центр энергетических исследований при Калифорнийском университете в Сан-Диего.

Вопрос в том, удастся ли нам овладеть энергией термоядерного синтеза в XXI в., или придется ждать следующего столетия. «Еще 10 лет назад многие ученые подвергали сомнению

возможность термоядерного синтеза даже в лабораторных условиях», — отмечает Дэвид Болдуин (David E. Baldwin), руководитель группы энергетиков, курирующих самый крупный в США термоядерный реактор *DIII-D*. Однако за последние 20 лет физики значительно усовершенствовали конструкцию токамаков — реакторов, в которых магнитное поле гигантских электромагнитных катушек удерживает внутри тороидальной камеры ионизированную плазму, разогретую до 100 млн. °С. «Теперь мы знаем, что термоядерный синтез возможен», — говорит Болдуин. — Вопрос в том, удастся ли сделать его экономически выгодным. Полагаю, нам потребуется

25–30 лет, чтобы превратить экспериментальные установки в промышленные реакторы».

До сих пор политики неохотно финансировали термоядерные исследования. Свет в конце тоннеля забрезжил лишь спустя 20 лет после того, как впервые был предложен проект создания на юго-востоке Франции Международного экспериментального термоядерного реактора (*ITER*). Если строительство новой установки стоимостью \$10 млрд. начнется в 2007 г., она будет введена в эксплуатацию не раньше 2016 г. Между тем в Индии, Китае и Корее близится завершение проектов токамаков, которые покажут, могут ли сверхпроводящие катушки удерживать горящую плазму внутри магнитных ловушек в течение нескольких минут. Современным реакторам хватает энергии, чтобы удерживать плазму лишь несколько десятков секунд.

Проект *ITER* призван решить три основных вопроса. В первую очередь он должен показать, что большой токамак способен управлять реакцией слияния дейтерия и трития

ОБЗОР

- Новые технологии помогут утолить мировую энергетическую жажду без ущерба для окружающей среды.
- Революционные способы получения энергии позволят нам ограничить поступление в атмосферу углекислого газа и спасти планету от последствий глобального потепления.

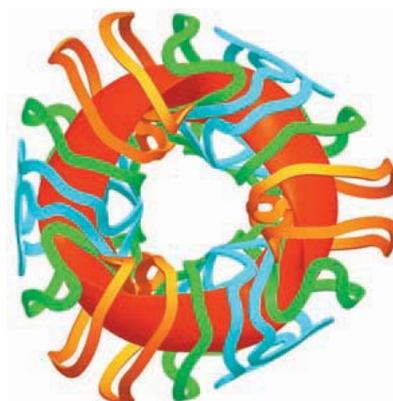
с получением гелия достаточно долгое время, чтобы выделяемая энергия в 10 раз превысила потребляемую. Кроме того, необходимо проверить, можно ли использовать быстрые нейтроны, получающиеся в результате реакции, для облучения лития и регенерации трития. Третья цель состоит в том, чтобы объединить широкий спектр технологий, необходимых для создания промышленных термоядерных реакторов.

Даже если *ITER* решит поставленные задачи, энергосеть не получит ни одного ватта электричества. Но это будет важнейшее достижение в области термоядерного синтеза. В 1942 г. Энрико Ферми наблюдал первую самоподдерживающуюся цепную ядерную реакцию. Спустя всего 11 лет ядерные реакторы уже работали на подводных лодках. Термоядерный синтез — гораздо более сложная проблема, и многие ученые считают, что потребуются 20–30 лет экспериментальных работ на реакторе *ITER*, прежде чем появятся

первые промышленные термоядерные станции.

Наджмабади смотрит на вещи более оптимистично. Он возглавляет рабочую группу, разработавшую три эскизных проекта промышленных энергетических реакторов. Последний вариант, *ARIES-AT*, менее требователен к площадям капитальной застройки, чем *ITER*, что существенно уменьшает затраты на строительство. В проекте *ARIES-AT* мощность реактора составляет 1 ГВт, а 1 кВт·ч стоит около 5 центов, что сопоставимо с современными ценами на электроэнергию, получаемую на ТЭЦ за счет сжигания нефти и газа. Наджмабади уверен, что если разработку промышленного термоядерного реактора вести параллельно со строительством *ITER*, то уже к середине века термоядерный синтез займет прочные позиции в мировом энергокомплексе.

По мнению Хофферта, у термоядерного синтеза будет еще больше преимуществ, если использовать быстрые нейтроны из токамаков



Стеллараторы по принципу работы схожи с токамаками, но в них используются магниты намного более сложных форм, что позволяет удерживать шнур из сверхгорячей плазмы (отмечено оранжевым). Рабочая группа *ARIES* проводит анализы предлагаемых конструкций на предмет пригодности для промышленных энергетических стеллараторов

для получения урана из тория. Запасы последнего относительно велики, в то время как уран закончится приблизительно через 50 лет. Синтезированный уран можно было бы использовать на обычных атомных станциях. «Сторонники термоядерного синтеза не хотят пятнать экологически чистый образ энергетических станций будущего, — замечает Хофферт. — Однако гибридные реакторы тоже имеют право на существование».

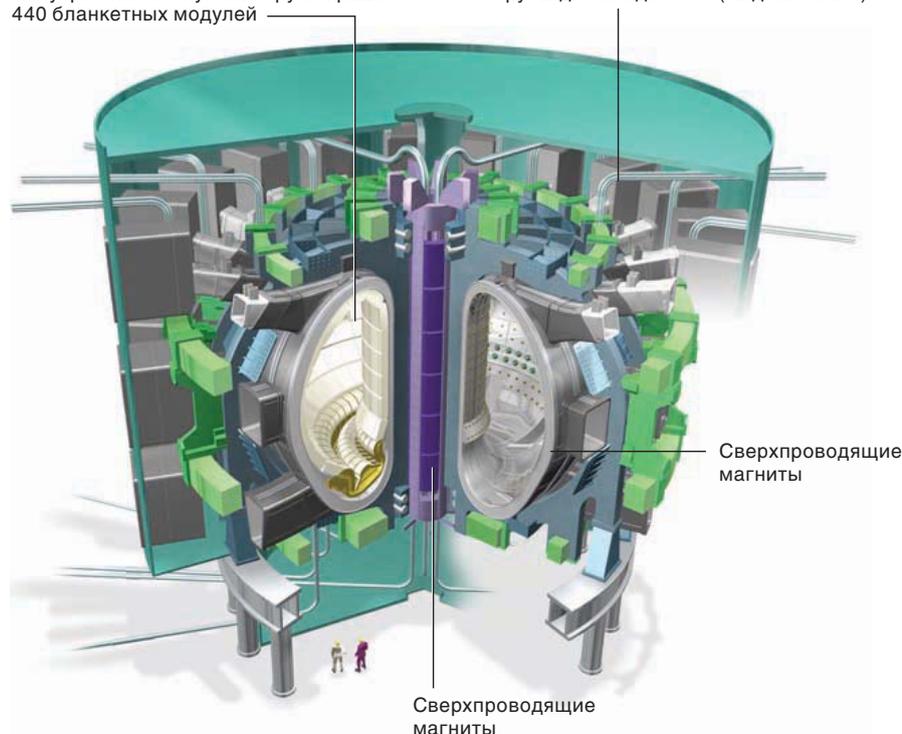
Высотный ветер

Ветра, дающие наибольшее количество энергии, дуют гораздо выше того уровня, на котором находятся турбины современных ветровых электростанций. Новые проекты метяют в заоблачные выси, возможно, даже в высотные ветровые потоки

Ветер — это солнечная энергия в движении. Примерно 0,5% солнечного света, поступающего в атмосферу Земли, преобразуется в кинетическую энергию воздуха. Атмосферный столб над каждым квадратным метром поверхности Земли содержит в среднем 1,7 Вт кинетической энергии. К счастью, она распределена неравномерно и сконцентрирована в сильные потоки. Однако самые мощные и наиболее постоянные потоки находятся на очень большой высоте. По оценкам Хофферта, ►

Изнутри плазменную камеру покрывают 440 бланкетных модулей

Трубы для хладагента (жидкий гелий)



Сверхпроводящие магниты

Сверхпроводящие магниты

Реактор термоядерного синтеза *ITER* станет первым токамаком, который будет производить гораздо больше энергии, чем потреблять. Его пуск намечен на конец следующего десятилетия. Эксперты по термоядерному синтезу уже планируют создание реактора следующего поколения, который получил название *DEMO*. Это будет первая промышленная электростанция, работающая на том же источнике энергии, что и звезды

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

примерно две трети всей ветровой энергии на планете скапливается в верхних слоях тропосферы, далеко за пределами досягаемости современных ветровых электростанций.

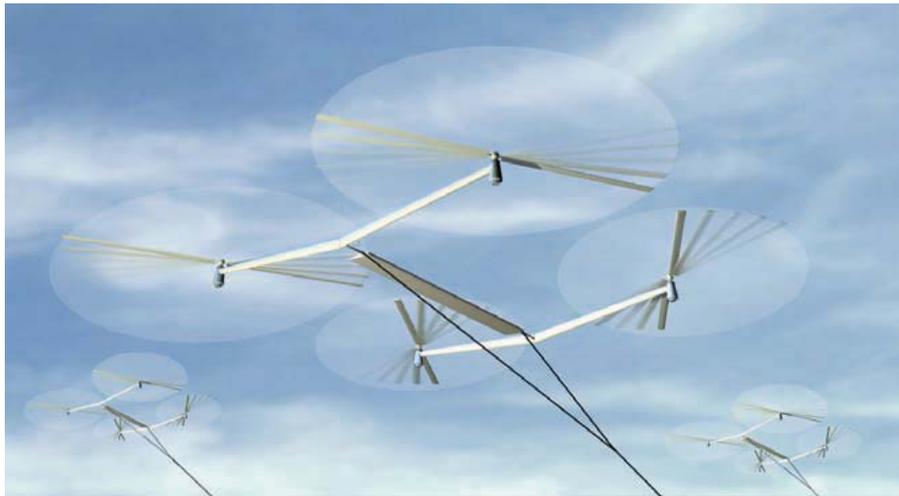
Кен Калдейра (Ken Caldeira) из Вашингтонского института Карнеги посчитал, как изменяется энергия ветра в зависимости от высоты, широты и сезона. Выяснилось, что «золотая жила» ветровой энергетики находится на высоте 10 тыс. м между 20° и 40° с.ш. В небе над Соединенными Штатами, Европой, Китаем и Японией энергия ветра достигает 5–10 кВт/м². Ветровой поток может отклоняться, но он никогда не останавливается.

Чтобы ветер мог внести в копилку человечества тераватты энергии, инженерам придется придумать способ разработки этой «золотой жилы». На данный момент в стадии активной разработки находятся три «высотных» проекта.

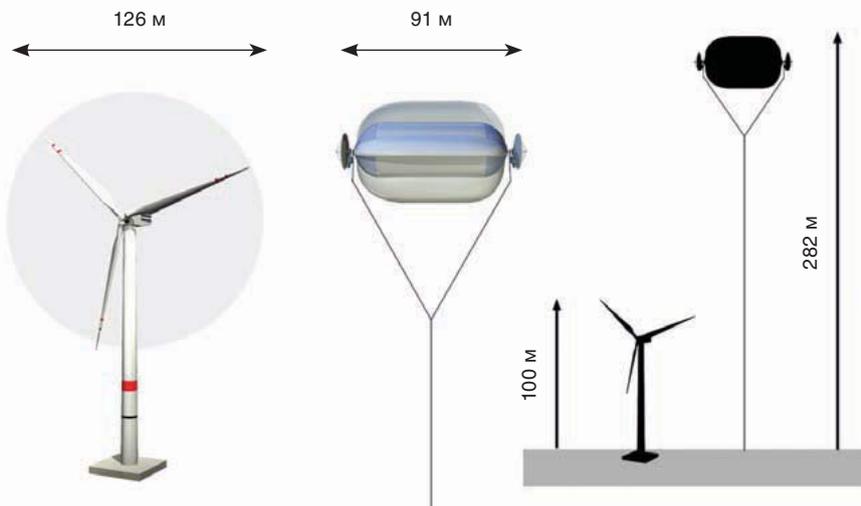
Компания *Magenn Power* в Оттаве планирует в следующем году выпустить на рынок свою последнюю разработку. Вращающийся генератор, заполненный гелием, поднимается на специальной привязи на 122 м над поверхностью земли и действует на основе эффекта Магнуса. Устройство размером с автобус будет выдавать 4 кВт мощности и обойдется покупателю примерно

в \$10 тыс. (без учета стоимости гелия). К 2010 г. компания планирует наладить выпуск 1,6-мегаваттных конструкций размером с футбольное поле.

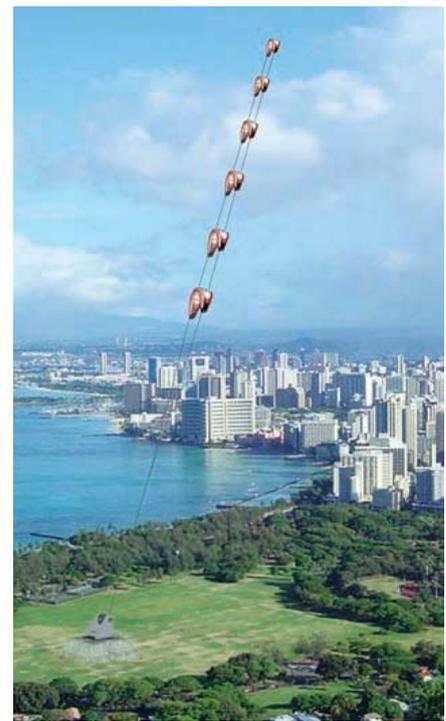
«Мы полагаем, что аэростаты в высотных ветрах окажутся неуправляемыми», — говорит Эль Грениер (Al Grenier) из компании *Sky WindPower* в Рамоне, Калифорния. Он предлагает использовать автожирные



Автожиры, разработанные фирмой *Sky WindPower*, будут подниматься на высоту 3 км и затем переходить в режим генерации. За положением аппарата будет следить компьютер, управляющий наклоном четырех пропеллеров



Летающие ветровые генераторы, производство которых *Magenn Power* планирует начать к 2010 г., смогут подняться гораздо выше самых крупных современных турбин и будут почти на треть уже их пропеллеров



Веревочно-воздушная лестница будет состоять из нескольких C-образных воздушных змеев (см. рис.), парасейлов или крыльев, закрепленных в верхней части привязи. Каждый элемент будет оснащен датчиками и двигателями, чтобы регулировать положение в процессе поднятия и спуска. Такая схема позволит оставить тяжелые генераторы на Земле



Наполненный гелием ротор будет ловить ветер тканевыми лопатками и вращать генераторы, закрепленные на тросах, по которым электричество будет передаваться на Землю

DON FOLEY; SOURCES: BEN SHEPARD Sky WindPower Corporation (top left); MAGENN POWER (bottom left); DON FOLEY; SOURCES: BEN SHEPARD Sky WindPower Corporation (top right); DON FOLEY (bottom right)

конструкции, которые будут ловить ветер несколькими вертолетными лопастями. Если поднять такой механизм на высоту 10 тыс. м, он будет выдавать 90% своей предельной мощности, в то время как из-за непостоянства ветров у поверхности Земли наземные турбины реализуют лишь 50% своего потенциала. Сейчас компания *Sky WindPower* ищет \$4 млн., чтобы создать опытный образец мощностью 250 кВт.

На стадии концептуальной разработки находится веревочно-воздушная лестница, придуманная астронавтом Вуббо Оккелсом (Wubbo J. Ockels) и его студентами из Делфтского технологического университета в Нидерландах. Устройство Оккелса будет состоять из множества управляемых компьютером воздушных змеев, соединенных длинной веревкой. Веревочно-воздушная лестница поднимается и опускается, вращая расположенный на Земле генератор. Моделирование такой системы показывает, что одна лестница, достигшая ветрового потока, может вырабатывать мощность до 50 МВт.

Пока названные высотные устройства не прошли серьезных испытаний, нельзя сказать, как они будут держаться в реальной атмосфере под воздействием турбулентности, сильных порывов ветра и ударов молний. Непомерно высокие эксплуатационные расходы могут привести к провалу данных проектов. Кроме того, существуют определенные административные сложности. Воздушные ветровые станции занимают не так много места на Земле, но при вводе их в эксплуатацию необходимо достичь договоренности с национальными авиакомпаниями об ограничении движения воздушного транспорта в окрестности таких установок. Грениер указывает, что такой прецедент уже существует: ВВС США уже давно запускают огромные привязные аэростаты, парящие на большой высоте над южными границами страны.

В целом, оценивая рассмотренные проекты по меркам революционных технологий, можно сделать вывод,

ФАНТАСТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Футуристическое видение проблемы довольно забавно, но в его основе нет физики

ХОЛОДНЫЙ И ПУЗЫРЬКОВЫЙ ТЕРМОЯД

В 1989 г. Стэнли Понс (B. Stanley Pons) и Мартин Флейшманн (Martin Fleischmann) подняли бурю в стакане своими заявлениями о термоядерном синтезе при комнатной температуре в обычной бутылке. Идея нашла узкий круг ярых приверженцев, однако большинство ученых резко отклонило такой вариант холодного термояда.

Теоретически вполне возможен так называемый акустический (пузырьковый) термоядерный синтез, пока не получивший экспериментального подтверждения.

В 2002 г. Рузи Талеярхан (Rusi Taleyarkhan) из Окриджской национальной лаборатории сообщил в журнале *Science* о том, что если емкость с ацетоном облучать нейтронами и мощным ультразвуком, в ней возникают микроскопические пузырьки, взрывающиеся со сверхзвуковой скоростью. Ацетон был сделан из дейтерия, и Талеярхан вместе с коллегами утверждал, что сверхвысокие температуры и давление в пузырьках приводили к слиянию некоторых атомов дейтерия с нейтронами и образованию трития. Другая группа из Окриджа повторила эксперимент, но не зарегистрировала ничего, что свидетельствовало бы о ядерном синтезе.

Талеярхан перебрался в Университет Пердью и продолжил свои эксперименты, всякий раз сообщая об успехах, которые никому не удавалось повторить. В 2006 г. сотрудники Университета Пердью провели расследование стычек Талеярхана с коллегами, выводы которых противоречили его собственным. Результаты расследования закрыли, а вместе с ними — и очередную главу печальной истории о холодном термоядерном синтезе. Впрочем, некоторые исследователи все еще надеются, что акустический термояд еще скажет свое веское слово



Взрывающиеся пузырьки

РЕАКТОРЫ НА АНТИВЕЩЕСТВЕ

Легендарный звездный крейсер «Энтерпрайз» совершал прыжки через гиперпространство, используя в качестве топлива вещество и антивещество. И неспроста: если смешать по 1 кг каждого, то выделится столько же энергии, сколько было получено при сжигании бензина, израсходованного в США за прошедшие полгода. Однако в природе нет естественных источников антивещества, и нам приходится синтезировать его. Ускорителю элементарных частиц в *CERN*, как самой эффективной установке для производства антивещества, потребуется 100 трлн. лет непрерывной работы, чтобы произвести 1 кг антипротонов.

И хотя физики уже научились синтезировать антиатомы (см.: Коллинз Г. *Получение холодного антивещества* // *ВМН*, 2005, № 9), электростанции на антивеществе, похоже, так и останутся несбыточной мечтой человечества



Скачок через пространство-время

что использование высотных ветров вполне доступно и даже заманчиво.

Космическое зеркало

Если разместить гигантскую солнечную батарею на околоземной орбите, где солнце светит наиболее ярко и непрерывно, то наземная солнечная энергетика станет ненужной. Однако не все так просто

В 1968 г. Питер Глейзер (Peter Glaser) высказал идею о спутниках

размером с целые города, собирающих в открытом космосе энергию солнечного света и посылающих ее на Землю с помощью невидимого СВЧ-излучения. Тогда такой проект казался фантастичным несмотря на то, что его автор был президентом Международного общества солнечной энергетики. Но когда в 1970-х гг. разразился нефтяной кризис, и цены на топливо взлетели до небес, инженеры NASA обратили ▶

на идею Глейзера пристальное внимание. Вплоть до 1979 г. разработка новой технологии казалась реально осуществимой задачей. Затем исследователи оценили стоимость ввода в эксплуатацию первой установки в \$305 млрд. (в долларах США 2000 г.), и проект был свернут.

С тех пор космические технологии и солнечная энергетика сделали большой шаг вперед, и проект космической солнечной электростанции (*space solar power, SSP*) занимает лидирующие позиции среди перспективных направлений развития энергетике. Хофферт обращает внимание на два самых больших преимущества, благодаря которым космические солнечные батареи могут оказаться предпочтительнее своих наземных собратьев. На геостационарной орбите, где нет ни земной тени, ни атмосферы, средняя мощность потока солнечного света в 8 раз выше, чем на поверхности планеты. Солнце светит всегда, и космические станции могли бы стабильно выдавать солидную мощность в энергосеть. Ректификационная антенна (ректенна), раскинутая на поверхности Земли на несколько квадратных километров, могла бы

преобразовывать в электрический ток 90% СВЧ-излучения даже в пасмурную погоду.

«SSP — это перспективный и экологически чистый источник энергии, — утверждает Хофферт. — Он рентабельнее и проще в реализации, чем управляемый термоядерный синтез». Тем не менее, проект SSP финансируется по остаточному принципу, тогда как вложение \$10 млрд. в создание термоядерного реактора в Европе было одобрено.

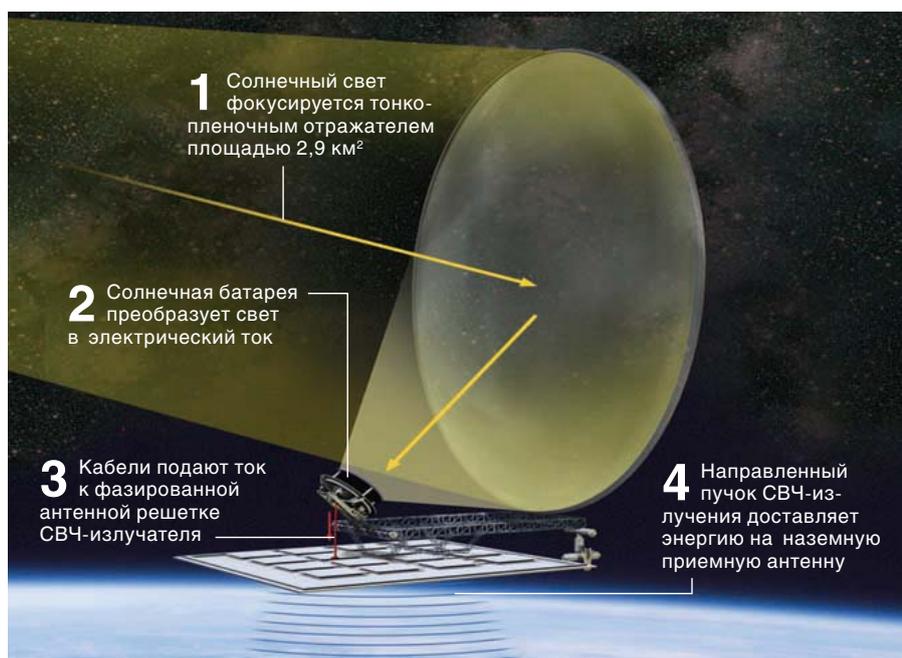
С 1995 по 2003 гг. NASA финансировало сокращенную программу исследований, в ходе которой были разработаны различные варианты реализации и отдельные компоненты SSP. Планировалось использовать тонкие фотоэлектрические пленки, высокотемпературные сверхпроводники и инфракрасные лазеры для передачи энергии на наземную приемную антенну. Разработчикам SSP удалось минимизировать вес оборудования и тем самым снизить стоимость вывода его на орбиту. И все же отношение энергетического выхода к весу оборудования оказалось слишком низким: всего лишь сотни ватт на килограмм полезной нагрузки. Пока не удастся

повысить этот показатель, околоземные солнечные электростанции не смогут составить конкуренцию другим возобновляемым источникам энергии.

Однако технический прогресс может коренным образом изменить ситуацию. Сейчас разрабатываются более легкие и более эффективные фотогальванические материалы. Например, в мае 2006 г. исследователи из Невшательского университета в Швейцарии сообщили об изобретении новой технологии получения фотоэлементов из аморфного кремния на прочной подложке. С их помощью можно было бы повысить удельную мощность до 3,2 кВт на килограмм полезной нагрузки. «Звучит оптимистично, — говорит Джон Манкинс (John C. Mankins), возглавлявший программу солнечной энергетике NASA с 1995 до 2003 гг., — однако больше всего хлопот доставляют не фотоэлементы, а опорные конструкции и система управления станцией». Для решения проблемы необходимо усовершенствовать космическую транспортную систему и сократить стоимость вывода на орбиту 1 кг полезного груза с десятков тысяч до сотен долларов.

Японское аэрокосмическое агентство JAXA в прошлом году объявило о своем намерении запустить к 2010 г. спутник, который развернет огромные солнечные батареи и будет передавать на наземную станцию энергию в виде СВЧ-излучения или лазерного луча мощностью 100 кВт. Долгосрочная программа NASA предусматривает к 2020 г. вывод на орбиту прототипа солнечной энергетической установки мощностью 250 МВт в рамках подготовки к введению в строй промышленных орбитальных солнечных энергетических станций гигаваттной мощности еще десятилетие спустя.

Ранее NASA одобряло подобные грандиозные проекты солнечной энергетике будущего, но два года назад, когда приоритеты агентства сместились в сторону исследования космоса, эти работы были в значительной степени приостановлены.



Гигантский аккумулятор энергии Солнца на геостационарной орбите мог бы работать днем и ночью при в любую погоду. Изображенная здесь энергетическая станция собирала бы 4 ГВт солнечной энергии и превращала ее в СВЧ-излучение мощностью 1,8 ГВт. Принимающая его ректенна выдавала бы в централизованную сеть 1,1 ГВт электричества

Нанотехнологические солнечные элементы

Используя материалы со специально спроектированной молекулярной структурой, можно повысить весьма скромную производительность солнечных батарей

5 ГВт — это ничтожные 0,038% от общего количества потребляемой в мире энергии. Полвека спустя после появления солнечных батарей именно такое количество производимой энергии приходится на долю фотоэлектрических энергосистем. Если говорить о мощности нереализованного потенциала, то гелиоэнергетика просто не имеет себе равных.

Даже если орбитальные энергетические модули никогда не оторвутся от Земли, нанотехнологии могут сделать Солнце более востребованным. Сейчас инженеры работают с различными материалами, которые заменят кремний, господствующий сегодня в фотоэлектрических элементах, увеличивая их эффективность и снижая стоимость.

КПД большинства сложных и дорогих кремниевых солнечных батарей второго поколения не превышает 22%. Применение новых материалов с квантовыми точками позволит удвоить их производительность, если открытия, о которых было заявлено в марте 2006 г., оправдают возлагаемые на них надежды. Квантовые точки размером менее 10 нм уже были получены группой ученых из Национальной лаборатории возобновляемых источников энергии в Колорадо и Лос-Аламосской национальной лаборатории в Нью-Мехико.

Когда солнечный свет попадает в кремниевые фотоэлементы, большая его часть преобразуется в тепло. В лучшем случае один фотон может выбить один электрон. Благодаря квантовым точкам расширяется рабочий диапазон длин волн, и каждый фотон выбивает из атомов до семи электронов. К сожалению, многие выбитые электроны вскоре рекомбинируют, и исследователям предстоит еще решить, как заставить их течь по проводам. Кроме того, для производства нанокристаллов с квантовыми точками необходимо

найти материалы, менее вредные для окружающей среды, чем используемые сегодня свинец, селен и кадмий. Несмотря на высокотехнологичное название, изготовление таких кристаллов обходится относительно недорого.

С помощью наночастиц другого типа можно сделать солнечную энергетику более конкурентоспособной в плане стоимости. В окрестностях Сан-Франциско компания *Nanosolar* строит завод, который будет производить 200 млн. фотоэлементов в год. На длинные рулоны ультратонкой пленки будет наноситься наноскопический слой медь-индий-галлий-диселенида, частицы которого будут самоорганизовываться в светопоглощающую структуру. Исполнительный директор *Nanosolar* надеется, что компании удастся снизить стоимость производимой энергии до \$0,5/Вт.

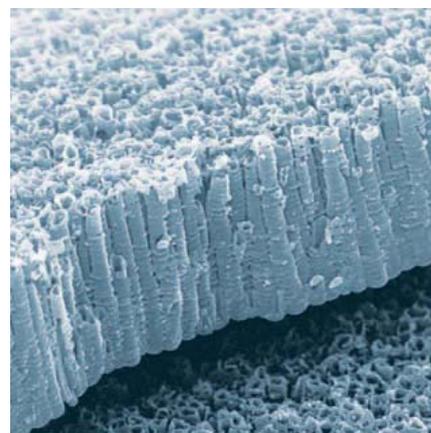
Не остались безучастными и энергетические гиганты. Корпорация *Shell* учредила дочернюю компанию по производству солнечных батарей, а *British Petroleum* в июле 2006 г. запустила совместный с Калифорнийским технологическим институтом пятилетний проект, нацеленный на создание высокоэффективных фотоэлементов на основе кремниевых наностержней.

Глобальная суперсеть

Революция энергосистемы немыслима без создания всепланетной сверхпроводниковой электросети

«Использование возобновляемых источников энергии связано с фундаментальной проблемой спроса и предложения», — отмечает Хофферт. Солнечный свет, ветер, приливы и растительное биотопливо довольно непредсказуемы и, как правило, сконцентрированы там, где нет людей. В принципе, можно было бы создать трансконтинентальные ЛЭП из сверхпроводящих материалов, охлажденных почти до абсолютного нуля и передающих мощные токи на огромные расстояния практически без потерь.

В июле 2006 г. компания *BOC Group* из Нью-Джерси приступила



Титановые нанотрубки, изготовленные в Университете штата Пенсильвания, увеличивают светопоглощающую способность солнечных элементов в 10 раз

к прокладке 350 м сверхпроводящего кабеля в Олбани, штат Нью-Йорк. Охлаждаемый жидким азотом, он сможет передавать до 48 МВт электрической мощности при напряжении 34,5 кВ.

В 2004 г. был разработан эскизный проект суперсети, передающей одновременно электричество и водород. Планируется, что жидкий водород, охлаждающий сверхпроводящие провода, можно будет использовать в топливных элементах гибридных автомобилей.

Если будет создана трансконтинентальная суперсеть, то солнечные батареи в Австралии и ветровые электростанции в Сибири смогут передавать энергию в США и Европу. Однако на строительство такой ▶



Глобальная сеть, схема которой была предложена в 1981 г. Букминстером Фуллером (Buckminster Fuller), связывает все населенные континенты и содержит минимум транс-океанских участков

грандиозной инфраструктуры, скорее всего, уйдет не одно десятилетие и не один триллион долларов.

Волны и приливы

Бушующий океан — это очень мощный, но практически невостребованный источник энергии. Поэтому некоторые компании работают над тем, чтобы обуздать энергию волн

«Люди всерьез задумались об энергии океана на 20 лет позже, чем о силе ветра, — говорит Роджер Бедард (Roger Bedard), эксперт по океанической энергии из Исследовательского института электрической энергии. — Но чтобы наверстать упущенное, 20 лет определенно не потребуется».

В 1980-х и 1990-х гг. приверженцы использования энергии волн и приливов могли сослаться лишь на два успешных коммерческих проекта: 240-мегаваттную приливную электростанцию во Франции и 20-мегаваттную приливную электростанцию в канадской Новой Шотландии. Недавно Китай ввел в эксплуатацию 40-киловаттную станцию в Дайшане. Шесть 36-киловаттных турбин скоро



Приливная электростанция фирмы *Marine Current Turbines* состоит из нескольких подводных турбин. Винты диаметром 20 м вращаются под действием приливных течений и могут быть подняты на поверхность для техобслуживания

заработают в нью-йоркской реке Ист-Ривер, а летом 2007 г. будет запущена первая коммерческая приливная электростанция в Португалии. Инвесторы и правительства строят куда более грандиозные планы.

Самые честолюбивые замыслы вынашивают британцы: аналитики полагают, что с помощью океана можно удовлетворить 20% потребности Соединенного королевства в электричестве и выполнить все обязательства, наложенные Киотским протоколом. В июле 2006 г. правительство Великобритании одобрило разработку технико-экономического обоснования проекта 16-километровой дамбы в дельте реки Северн. Стоимость исполинского сооружения составит \$25 млрд., а накатывающие на него приливы будут вырабатывать мощность 8,6 ГВт. Ожидается, что дамба проработает не менее 100 лет.

Экологи опасаются, что приливная плотина нарушит экосистему речной дельты. Питер Френкель (Peter Fraenkel) считает, что установка турбин *SeaGen*, разработанных компанией *Marine Current Turbines*, гораздо предпочтительнее строительства дамбы. Небольшие электростанции, установленные вдоль всего побережья туманного Альбиона, смогут производить не меньше энергии, чем Севернская дамба, но их постройка потребует меньших капиталовложений и нанесет меньше вреда окружающей среде.

Справедливость заявлений Френкеля можно будет проверить, когда приливной генератор, сооружаемый его компанией на озере Стрэнфорд в Ирландии, начнет выдавать в среднем 540 кВт мощности. Своеобразная подводная мельница имеет два винта, находящихся с двух сторон опоры, зацементированной в морском дне.

«Главное преимущество приливов и отливов заключается в их полной предсказуемости, — говорит Бедард. — Но в глобальном масштабе их энергия не спасет мир: на Земле слишком мало мест, где наблюдаются достаточно быстрые приливные течения».



Волновой электрогенератор, разработанный компанией *Ocean Power Delivery*, вырабатывает электричество, прогибаясь в местах соединения отсеков при прохождении под ними волн. Энергоустановка *Pelamis* подныривает под высокие волны, и поэтому сильные штормы ей не страшны

Сильные волны более капризны, зато встречаются практически повсюду. Анализ, проведенный группой Бедарда, показал: даже если лишь 20% пригодного для энергетического использования побережья оснастить волновыми электростанциями с 50% КПД, то их мощность превысит совокупную мощность всех гидроэлектростанций США.

Четыре компании недавно закончили морские испытания волновых энергетических установок. Фирма *Ocean Power Delivery* вскоре начнет получать 2,25 МВт энергии с трех 120-метровых энергетических установок *Pelamis*, находящихся у берегов Португалии. Если все пойдет по плану, то компания установит еще 30 машин. Счастливого плавания!

Микробиологическая энергетика

Генные инженеры верят в возможность создания синтетической формы жизни, которая позволила бы нам выращивать энергию, как сейчас мы выращиваем продукты питания

«Мы рассматриваем геном как программное обеспечение и даже как операционную систему, управляющую работой клетки, — говорит Крэг Вентер (J. Craig Venter). — Пришло время обновить ее». В мае 2006 г. Вентер выступил на конференции «Синтетическая биология 2.0», многие участники которой пытаются получить генетически

модифицированные организмы. Планируемая глубина генетических изменений такова, что полученные клетки можно будет отнести к синтетическим видам. Вентер разработал несколько высокоэффективных методов расшифровки генома человека и недавно основал компанию *Synthetic Genomics*, занимающуюся производством генетически модифицированных клеток. Он уверен, что в ближайшее десятилетие эта новая отрасль составит серьезную конкуренцию нефтехимической промышленности.

Возможно, такая оценка слишком оптимистична: пока никто не смог изготовить синтетическую живую клетку. Однако Вентер уже добился определенного успеха в области создания искусственной хромосомы, содержащей минимальный набор генов, необходимых для поддержания жизни в управляемой среде, богатой питательными веществами. «Первая синтетическая прокариотическая клетка будет получена в ближайшие два года, а геном искусственной эукариотической клетки планируется создать не позже, чем через 10 лет», — считает ученый.

В недалеком будущем появятся новые микроорганизмы, которые будут захватывать углекислый газ, выходящий из дымовых труб ТЭЦ, и превращать его в природный газ. «На Земле обитают тысячи, а может, и миллионы микроорганизмов, наделенных такими способностями, — говорит Вентер. — Разумеется, ни один из них не выживает на промышленной электростанции, и мы просто позаимствуем фрагменты их ДНК и создадим синтетические виды. Кроме того, мы разрабатываем биологические системы, которые под действием солнечного света будут производить водород в процессе фотосинтеза».

Недавно директор Национальной лаборатории им. Лоуренса Стивен Чу (Steven Chu) объявил о подготовке крупного энергетического проекта, предусматривающего использование энергии Солнца для получения автомобильного топлива. Он считает, что с помощью генной



Теплицы и подводные плантации когда-нибудь заселят специально выведенными микроорганизмами, водорослями и растениями, способными производить водород, поглощать углекислый газ и превращать зерновые в топливо

инженерии можно модифицировать растения и водоросли так, чтобы они могли самоопыляться, а также выдерживать засухи и нашествия вредителей. Новые зерновые культуры будут давать много клетчатки, которую синтетические микроорганизмы будут превращать в топливо. Чу полагает, что биологические процессы намного эффективнее, чем тепловой гидролиз, с помощью которого сегодня производят этанол.

Цены на нефть приближаются к \$80 за баррель, и энергетические

биотехнологии не могут ждать, пока ученые научатся синтезировать живые клетки. Кембриджская компания *GreenFuel* построила фермы для разведения водорослей, превращающих в биологическое топливо до 40% CO_2 , вырабатываемого местными ТЭЦ. Специалисты компании утверждают, что крупная ферма рядом с электростанцией мощностью 1 ГВт может давать 190 млн. л этанола в год. «Согласитесь, выгодное производство, — замечает Чу. — Более того, оно помогает нам охранять природу». ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Advanced Technology Paths to Global Climate Stability: Energy for a Greenhouse Planet. Martin I. Hoffert et al. in *Science*, Vol. 298, pages 981–987; November 1, 2002.
- Proceedings of the Hydrokinetic and Wave Energy Technologies Technical and Environmental Issues Workshop. Washington, D.C., October 26–28, 2005. Available at <http://hydropower.inl.gov/hydrokinetic-wave>
- URSI White Paper on Solar Power Satellites. International Union of Radio Science, November 2005. Available at www.ursi.org
- Engineering Life: Building a Fab for Biology. Bio Fab Group in *Scientific American*, Vol. 294, No. 6, pages 44–51; June 2006.
- Видео-тур по термоядерному реактору DIII-D ищите на www.sciam.com/onthe-web
- Информация о проектах ITER и ARIES: www.iter.org и <http://aries.ucsd.edu/ARIES>
- Информация о высотных ветровых генераторах: www.skywindpower.com, www.magenn.com и www.lr.tudelft.nl/asset
- Материалы Второй международной конференции «Синтетическая биология»: <http://webcast.berkeley.edu/events>

Марк Фишетти

ВЫСОКАЯ ЗАДАЧА

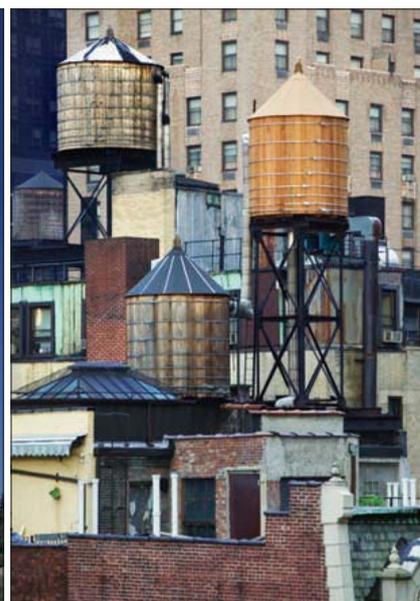
Водонапорная башня — основа механизма балансировки давления в водопроводной системе

Большинство коммунальных хозяйств получает воду из водохранилищ или скважин, очищает ее в специальных очистных сооружениях и направляет в насосные станции, подающие ее в резервуары, находящиеся на большей высоте. Создаваемый насосами напор достаточен для того, чтобы заработал водопровод в вашем доме. Но если насосы будут качать воду непосредственно в трубопроводы, то с изменением потребления будет меняться и давление. Таким образом, водонапорная башня поддерживает постоянное давление в линиях и обеспечивает подпитку, когда потребление воды становится больше производительности насоса.

Размеры резервуара обычно выбирают с таким расчетом, чтобы он вмещал количество воды, превышающее суточное потребление. Насосы могут работать круглосуточно, пополняя емкость ночью, когда водопотребление мало. Утром, когда оно увеличивается, накопленный запас расходуется и восполняется насосами.

Водонапорные башни обычно используются на равнинах, но резервуары есть и в холмистых и горных местностях, где они могут располагаться на возвышенностях, а в городах — на крышах высоких зданий. Емкость в водонапорной башне или на вершине холма обычно устанавливают примерно на 30 м выше самых высоких зданий. Каждый дополнительный метр создает давление около 0,1 бар (10 кПа), т.е. 3 бар (300 кПа) при разности высот в 30 м. Давление в трубах, расположенных в низине, может быть гораздо больше. Поэтому в городском водопроводе, где оно может превышать 5,6 бар (560 кПа), устанавливаются редукционные клапаны.

Гидродинамическое сопротивление потоку воды в трубах может понизить давление на 0,2.–0,35 бар (20–35 кПа) и более. Потери на гидродинамическое сопротивление растут пропорционально квадрату скорости течения, поэтому утром и вечером, когда люди уходят или возвращаются с работы и активно пользуются водой, они могут вчетверо превышать аналогичный показатель ночного водопотребления.



Формы обманчивы. Практически все резервуары имеют цилиндрическую форму для равномерного распределения веса воды между опорами, но в эстетических целях они могут быть скрыты за фасадами. На снимках по часовой стрелке, начиная с левого верхнего: Форкальке (Франция), Нью-Йорк, Кувейт, Гонолулу (шт. Гавайи)

DANIELS & DANIELS (illustrations); CHRIS HELLIER Corbis (castle); CORBIS (roof tops); KEVIN SCHAFER Corbis (stripes); DOUGLAS PEEBLES Corbis (pineapple)

ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ...

БОЛЬШИЕ НАГРУЗКИ. Обычный резервуар вмещает до 4 тыс. м³ воды и выдерживает нагрузку до 40 МН (4000 тоннсил). Поэтому там, где грунт очень плотный, они устанавливаются на массивные бетонные фундаменты, выдерживающие и дополнительные боковые нагрузки ветра, дующего со скоростью до 160 км/ч. На равнинах для закрепления фундамента забивают сваи, которые уходят на глубину 30 м.

СТЕРИЛИЗАЦИЯ. Раз в год резервуар опорожняют и дезинфицируют раствором хлора или аммиака. Для того чтобы поддерживать давление в системе и обеспечивать бесперебойное водоснабжение населения при проведении дезинфекций, в большинстве городов устанавливается не один, а несколько резервуаров.

ДЕЛО НЕ В ДАВЛЕНИИ. Пожарные, открывающие каждой весной гидранты, делают это не для сброса давления, а для проверки их исправности и промывки линий от осадка, который, накапливаясь, увеличивает гидродинамическое сопротивление, а следовательно, и потери давления.

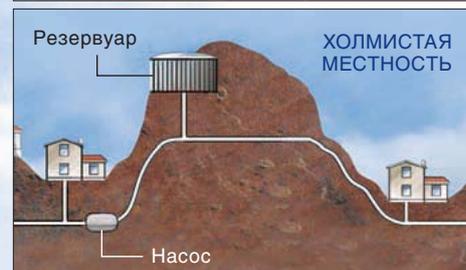
СОТОВАЯ СВЯЗЬ. Довольно часто коммунальные службы сдают место над резервуарами в аренду операторам сотовых сетей, поскольку высота водонапорной башни (30–45 м) удобна для размещения антенн приемопередатчиков их базовых станций.

РЕЗЕРВУАР обычно представляет собой стальной цилиндр со сводом и днищем. Вентиляционное отверстие обеспечивает поступление и выход воздуха при опорожнении и заполнении резервуара, предотвращая возникновение разрежения или избыточного давления, которые могут вызвать деформацию свода. При стерилизации или окраске емкости используется вытяжной вентилятор

НАСОС через стояк подает воду в резервуар, откуда она через тройник поступает в городскую водопроводную сеть. В новых конструкциях нет застойных зон, поскольку вода свободно течет по наполнительной трубе. Телеметрическая аппаратура управляет включением и выключением насоса



РАЗМЕЩЕНИЕ: для обеспечения надлежащего напора в системе резервуар должен быть расположен выше всех жилых зданий. На равнинах строят водонапорные башни, в холмистой местности резервуары устанавливают на возвышенностях, а в городах — на крышах зданий, а насосы размещают в подвалах



праздник леса

В ДЕТСКОМ САДУ

Осенью 2006 г. на территории московского детского сада № 1901 в Южном Измайлово происходило необычное действо: малыши, изображая волчат, лисят, зайчат и прочих лесных обитателей, разгуливали между деревьев и цветов рука об руку с пожилыми людьми, беседовали, мастерили узоры из лесных ягод и семян, а потом вместе сдавали студентам и школьникам экзамен на знание жизни леса.

Эта акция была частью молодежного проекта, выполненного по международной программе *Make a connection* и ставшего логическим

продолжением социально-педагогической инновации в области экологического образования «Малыши и няньки», которая появилась еще в конце прошлого века в подмосковном академгородке Пущино. Группа ученых создала «Лабораторию оптимизации природопользования», где был разработан ряд новых подходов к экологическому образованию и воспитанию детей и подростков. В частности, было наглядно показано, с одной стороны, что самые современные научные знания легко усваиваются школьниками и студентами при выполнении ими

совместных проектов с учеными, а с другой стороны, что молодые по возрасту «наставники» легко и просто находят способы донесения новых знаний до малышей и с энтузиазмом воплощают свои «инновации» на практике.

Летом 2005 г. в Москве инициативная группа студентов и школьников выиграла по международной программе *Make a connection* грант на обеспечение расходными материалами добровольческой работы по «зеленому аудиту» и улучшению условий для эколого-воспитательной работы на участках двух московских детских садов — № 403 (дети с туберкулезной интоксикацией) и № 1901 (дети с нарушениями речи). Участники проекта провели экспресс-оценку состояния территории детских садов. Изучая уровень асимметрии листьев березы, они установили, что качество природной среды отнюдь не удовлетворительно — для обоих участков $\geq 0,05$ (что не удивительно для Москвы). Оценив количество и видовой состав деревьев (на одном участке 300 деревьев 23 видов, а на другом — 100 деревьев 12 видов), юноши и девушки составили карты-схемы их расположения, нашли в литературе красочные иллюстрации и подготовили сборники научно-практических рекомендаций «Поможем малышам узнать и полюбить



Студенты и дети готовятся к «Празднику леса»

деревья» с большим количеством цветных фотографий. Специалисты детских садов с удовольствием пользуются этими сборниками в работе с детьми.

На средства гранта были приобретены и посажены новые виды деревьев. С учетом пожеланий хозяев в одном детском саду появились «гости Уссурийской тайги»: сибирская пихта, манчжурские абрикос и орех, актинидия и амурский виноград; в другом — «уголок леса»: саженцы дуба и сосны, кустарники (лещина, калина, бузина) и несколько сот луковец первоцветов.

Студенты и школьники с удовольствием общались с малышами: рассказывали о работе на участке, играли с детьми, обучали их узнавать деревья и делать гербарии, ориентироваться по карте-схеме и создавать узоры из ягод и семян, показывали, как правильно смастерить и повесить «птичий домик».

Проведенные эксперименты показывают, насколько оперативно и эффективно можно пройти путь от научного исследования до внедрения научных рекомендаций, используя в качестве модельных площадок территории детских садов. В России таких площадок, типовых по размерам и выполняемым функциям и чрезвычайно вариабельных по природным и социально-экономическим условиям, насчитывается более 40 тыс. Сложность в том, что при всей кажущейся простоте молодежные благотворительные проекты исследовательской и просветительской направленности требуют неперемного участия высококвалифицированного наставника для самой молодежи.

В наши дни становится все более очевидным, что инертность реформирования системы образования не позволяет учебным программам и пособиям успевать за развитием науки. В конце XX столетия это отчетливо проявилось в области экологической проблематики. Масштабы экологических проблем (истощение природных ресурсов нашей планеты и загрязнение таких важных компонентов внешней среды,



Студенты и школьники за работой в «уголке леса»

как воздух, вода и почва), локальные особенности их проявления, пути и способы изменения характера природопользования и внесения изменений в природную среду — весь этот комплекс знаний до сих пор не инкорпорирован системой образования в текущие учебные программы, несмотря на то, что этому вопросу в последнее время уделяется особое внимание.

На 57-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН в декабре 2002 г. десятилетие, начинающееся с 2005 г., было провозглашено десятилетием образования в интересах устойчивого развития. 23 марта 2006 г. Комитет Совета Федерации по науке, культуре, образованию, здравоохранению и экологии провел Международную конференцию «Законодательное обеспечение экологического образования и формирования экологического сознания», отметив в решении, что экологическое образование и просвещение всех групп населения является важнейшим инструментом охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов и устойчивого развития.

Новые подходы к оптимизации образовательного процесса предусмотрены в «Программе социально-экономического развития Российской Федерации на среднесрочную перспективу (2006–2008 гг.)», где указано, что задачи обеспечения качества,

доступности и эффективности образования на предстоящий среднесрочный период могут быть решены, в том числе, за счет расширения числа организаций, реализующих образовательные программы, привлекая в эту сферу различные не образовательные организации, имеющие ресурсы для осуществления разнообразных дополнительных профессиональных программ. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Асланиди К.Б., Малярова М.А., Потапова Т.В., Рыбальский Н.Г., Цитцер О.Ю. Экологическая азбука для детей и подростков. М: Изд-во МНЭПУ, 1995.
- Асланиди К.Б., Потапова Т.В. Концепция экологического воспитания дошкольников // Мир психологии, 1997, № 1, с. 75–84.
- Мид М. Культура и мир детства. М.: Наука, 1988.
- Парфенов В.А. Лесной бастион. М.: НИИ-Природа, 2004.
- Образование, которое мы можем потерять / Под ред. В.А. Садовниченко. М.: МГУ; Институт компьютерных исследований, 2002.
- Эфроимсон В.П. Педагогическая генетика. Родословная альтруизма. М.: Тайдекс Ко, 2003.
- Деревья и дети в городе: web-сайт «Ученые-детям» НИИФХБ им. А.Н. Белозерского МГУ им. М.В. Ломоносова — <http://kids.genebee.msu.ru>.

китай — россия 2050: стратегия соразвития

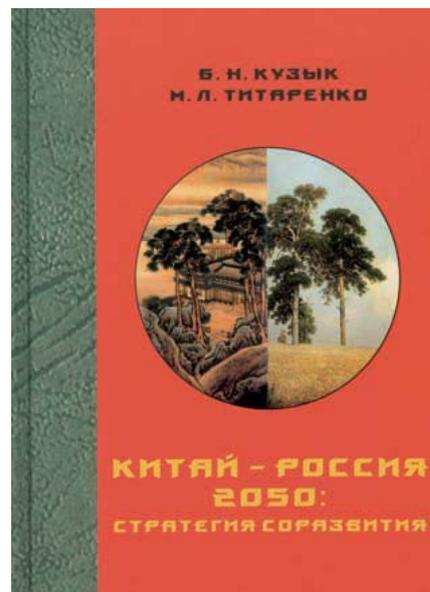
В XXI в. Китай и Россия вступили как две великие державы, как два стратегических партнера, стоящих перед лицом сходных задач и вызовов в условиях глобализации. Масштабный рост геополитического влияния КНР делает китайский фактор одним из важных ключевых компонентов долгосрочного политического глобального и регионального прогнозирования. Только развивая и углубляя добрососедство, дружбу, стратегическое взаимодействие и сотрудничество, наши страны способны уверенно продвигаться по пути соразвития с учетом самостоятельного выбора, сделанного российским и китайским народами.

В монографии на основе комплексной методологии прогнозирования предпринята попытка исследовать потенциал развития Китая до 2050 г., а также проблемы и противоречия, которые могут возникнуть на его пути, возможные перспективы их решения. Вместе с тем в книге раскрывается потенциал сотрудничества России и Китая

в решении внутренних и международных задач. В исследовании приводятся различные варианты долгосрочных прогнозов развития Китая, которые коррелируют с прогнозами динамики отношений Китая с Россией и другими странами.

Воспользовавшись оригинальной методологией девятифакторного анализа динамики развития государств (стратегическая матрица), авторы спрогнозировали наиболее вероятные варианты развития отношений двух стран. Были исследованы такие факторы, как управление, территория, природные ресурсы, население, экономика, культура и религия, наука и образование, вооруженные силы и внешняя политика государств. Этот анализ позволил дать наиболее близкую к действительности оценку состояния и перспектив сотрудничества Китая и России.

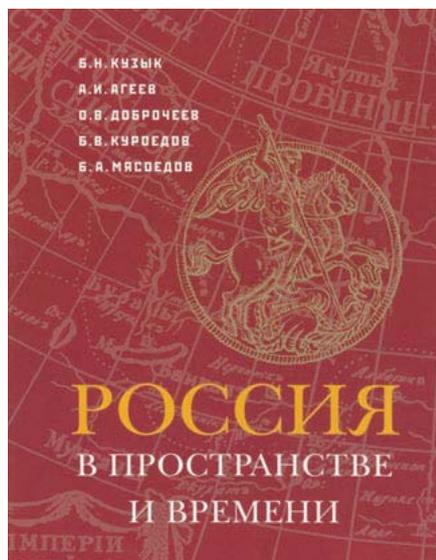
Новая книга может стать прекрасным пособием для высших учебных заведений, где занимаются изучением Китая и его взаимоотношений



Кузык Б.Н., Титаренко М.Л. Китай — Россия 2050: стратегия соразвития. М.: ИНЭС; ИДВ РАН, 2006.

с Россией. Этот труд адресован не только политикам всех уровней, дипломатам, но и всем, кто живо интересуется международной проблематикой.

россия в пространстве и времени: история будущего



Наблюдающийся в последнее время всплеск исследований, отличающихся нетривиальными подходами к изучению истории, множество попыток создания «новой хронологии» или «новой географии», введение в научный оборот новых массивов эмпирики — все это симптомы неудовлетворительного состояния нашего знания истории, равно как и следующей из этого растерянности перед лицом будущего.

Россия в пространстве и времени (история будущего) / Кузык Б.Н. (руководитель авторского коллектива). М.: Институт экономических стратегий, 2004.

В сочетании с масштабностью стоящих перед современной Россией проблем все это приводит к высокой стратегической уязвимости принимаемых в настоящее время серьезных решений, определяющих курс развития страны. Явно и подспудно идущая в нашем обществе дискуссия о «национальной идее» — ярчайшее свидетельство того, что самоопределение крупнейшей мировой социоприродной системы до сих пор затруднено. Разрешение этой проблемы, собственно говоря, является вопросом самоидентификации российской цивилизации и в качестве необходимого условия требует выявления и осмысления

фундаментальных характеристик нашей исторической динамики. К их числу относятся те параметры исторического процесса, которые в наименьшей степени поддаются искажающему влиянию интерпретаций или недостоверной информации.

Ставшие для нас прошлым исторические события когда-то были совокупностью замыслов действующих лиц, намеченных к реализации, с разной степенью эффективности осуществившихся в реальности и создавших в итоге неповторимый рисунок исторического явления. В этом смысле историю можно

трактовать как своеобразный музей стратегий с большим запасником, закрытым, как правило, для публичного просмотра.

В книге «Россия в пространстве и времени (история будущего)» представлены уникальные исследования российской истории за последние две тысячи лет. На основе междисциплинарного анализа и специально разработанной методологии выявлена волнообразная природа российской истории, в которой прослеживаются длинные 80-летние и сверхдлинные 400-летние циклы. Обнаружены структурная повторяемость как

стратегических проблем России, так и способов реагирования на них власти и общества.

Понимание устойчивых тенденций прошлого позволило сделать прогнозные сценарии будущего России. Особое внимание уделено динамике геополитического контекста развития страны, дан анализ более 50 государствообразующих событий национальной истории.

Книга представляет интерес для лиц, принимающих стратегические решения на государственном и корпоративном уровнях, а также для всех интересующихся историей Отечества.

Малая российская энциклопедия прогностики

Абстрактное понятие «предвидение будущего» имеет несколько форм конкретизации. Иногда под предвидением понимают сложное предвосхищение будущего, называемое предугадыванием (существует и простое предвосхищение — предчувствие, свойственное любому организму от растения или вируса до человека). Часто под предвидением понимают научное исследование, точнее, одну из его разновидностей, направленную на изучение перспектив развития какого-либо процесса или явления. Эта форма конкретизации предвидения обычно называется прогнозированием, и для нее характерны все требования, относящиеся к научному исследованию.

Прогнозирование также имеет различные формы и цели. Одни научные прогнозы нацелены на предсказание каких-либо событий в будущем. Другие — на выявление назревающих проблем и возможностей их решения с помощью исследовательских технологий. В таких прогнозах предсказания играют сугубо условную, инструментальную роль, хотя, как некий побочный продукт, нередко представляют большой самостоятельный интерес.

В последнем случае прогнозирование называется технологическим.

Его основные принципы были заложены в трудах В.А. Базарова-Руднева (1874–1939) в 20-е гг. XX в. и заново развернуты в конце 50-х — начале 60-х гг. в трудах большой группы западных ученых, не знавших о работах своего предшественника. Эти принципы стали научной базой нынешних исследований будущего, которые сейчас именуется «современной футурологией».

Малая российская энциклопедия прогностики — первый опыт справочного издания в области междисциплинарного комплекса исследований будущего. Уточнение «российская» в названии подразумевает то, что значительная часть материалов относится к исследованиям будущего в России. Однако методологическая часть, безусловно, имеет интернациональный характер и, разумеется, затронуты аспекты мирового опыта, имеющие прямое или косвенное отношение к России.

Практически весь научный инструментарий современной прогностики был создан почти полвека назад — в 1960-е гг. С тех пор имели место лишь отдельные частные усовершенствования. Главное же то, что прогнозисты нигде в мире так и не сумели найти общего языка с управленцами на начальных



Малая российская энциклопедия прогностики / Бестужев-Лада И.В. (главный редактор), Агеев А.И. и др. М.: Институт экономических стратегий, 2007.

стадиях подготовки решений. Поэтому футурология вот уже почти полвека существует как абстракция, не имеющая прямого отношения к конкретным реалиям политики. Старшее поколение сделало, что смогло. Остается ждать, что сделает новое, молодое поколение.

Именно на него рассчитано в первую очередь настоящее издание.

В 2005 г. начал свою работу Национальный информационный центр по науке и инновациям — портал *ScienceRF.ru*, который был создан для информационно-аналитического и экспертного представления результатов Федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002–2006 годы». Основным направлением деятельности портала стало информирование потенциальных инвесторов и общественности о состоянии и развитии сектора исследований и разработок РФ. Значительное внимание уделялось распространению оперативной информации, а также сведений дискуссионного характера, в том числе с помощью публичных обсуждений, семинаров, круглых столов.

За время работы портала *ScienceRF.Ru* было установлено несколько сотен контактов с экспертами и налажено плодотворное сотрудничество с участниками инновационного процесса: учеными, представителями государственных органов власти, бизнеса и инвесторского сообщества.

С 2007 г. предполагается серьезная модернизация портала Национального информационного центра по науке и инновациям *ScienceRF.Ru* с учетом новых задач. Выйдет в свет обновленное издание «Наука и технологии России», которое будет ориентировано на практическое содействие развитию и расширению связей научно-технологического сектора с инновационным бизнесом с целью повышения конкурентоспособности национальной экономики. Мы намерены продолжить развитие успешных направлений деятельности *ScienceRF.Ru* и формировать новое видение, новые структурные и идеологические инструменты информационной инфраструктуры. Проект «Наука и технологии России» (*WWW.STRF.RU*) направлен на достижение интеграции сектора научных исследований и технологических разработок в рыночную экономику.

Наш девиз

«Наука, общество, экономика: интеграция во имя развития».

Наша цель

Цель проекта — активное содействие развитию научно-технологического сектора в интересах повышения конкурентоспособности национальной экономики.

Наши задачи

Распространение и экспертный анализ информации о процессах в области реформирования научного сектора экономики страны, представление наиболее значимых для общества результатов научных исследований и технологических разработок, активное информационно-аналитическое использование примеров реального внедрения инновационных разработок в промышленное производство.

Содействие наиболее полному информированию ключевых аудиторий проекта с помощью оперативной публикации новостей и аналитических материалов в области основных направлений реформирования научно-организационной деятельности, использования законодательной практики в научно-ориентированных и инновационных секторах.

Издание «Наука и технологии России» стремится максимально профессионально и объективно представить широкий спектр информации о науке, инновациях и направлениях государственной политики в научно-технической и инновационной сферах экономики страны.

Наши эксперты — это руководители и сотрудники научных организаций, инновационных и промышленных компаний, государственных органов власти, ведущие специалисты в области исследований, разработок и продвижения инновационных технологий.

Наша аудитория — это люди, ориентированные на успех, профессиональное развитие и взаимодействие с партнерскими организациями.

Приглашаем Вас к сотрудничеству!

Экспертную поддержку электронного издания «Наука и Технологии России» в Интернете осуществляет «Центр «Открытая экономика»

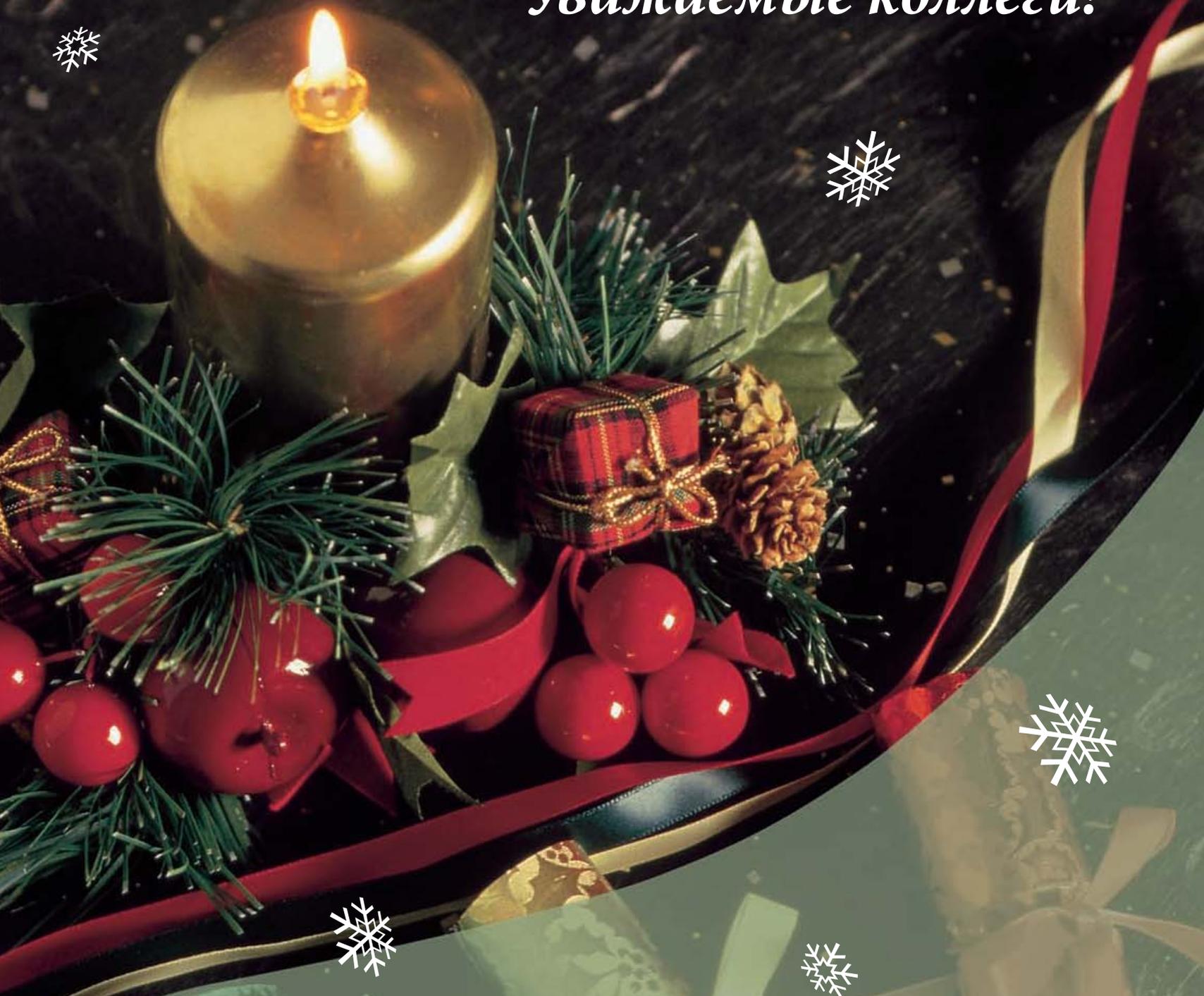
Контактная информация:

119899, Москва, Ленинские горы, Научный парк МГУ, влад. 1, стр. 75Г

Тел.: +7 (495) 930-8707, +7 (495) 930-8850

www.sciencerrf.ru; www.strf.ru

Уважаемые коллеги!



**Федеральное агентство по науке и инновациям,
Государственная Дирекция целевой научно-технической программы
и Национальный информационный центр по науке и инновациям ScienceRF.ru
поздравляют вас со светлым праздником Рождества Христова!**

Рождество — это день всепрощения, светлых чувств, день, когда торжествует любовь. Пусть этот праздник оправдает самые добрые надежды, принесет мир, здоровье и благополучие. Пусть в этот день в вашем доме царит атмосфера беззаветной радости и уюта. Примите от нас самые искренние пожелания здоровья, стабильности, спокойствия, улыбок и семейного тепла!

Мы желаем вам новых открытий и завоеваний.
Пусть ваши планы осуществляются, а ваши мечты исполняются.



ежемесячный научно-информационный журнал

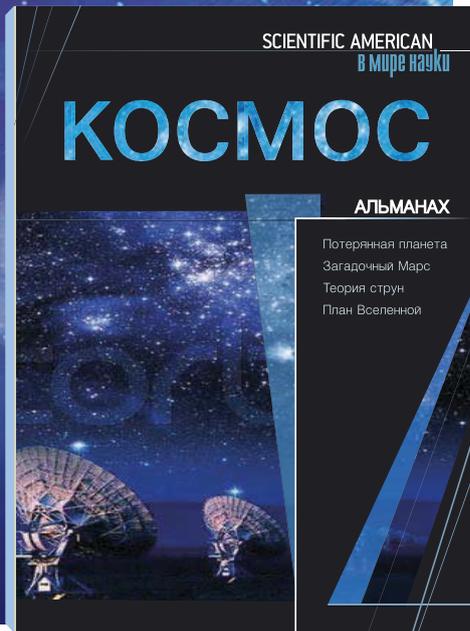
Открыта подписка по специальной цене 450 рублей

В феврале 2006 года вышел в свет сборник материалов журнала «В мире науки», посвященный космосу

www.sciam.ru

Информацию об оформлении подписки можно получить по телефонам:

105-03-72 и 727-35-30



SCIENTIFIC AMERICAN В мире науки

КОСМОС

АЛЬМАНАХ

Потерянная планета
Загадочный Марс
Теория струн
План Вселенной



НАРОДНОЕ РАДИО

ЛЮДИ СЛУШАЮТ

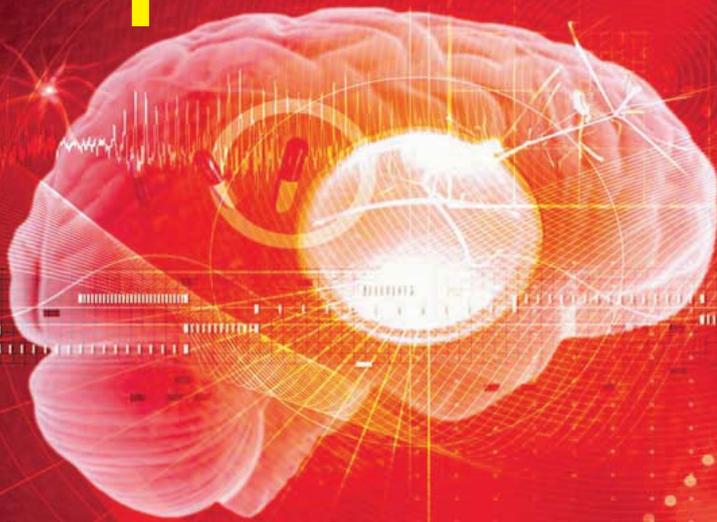
www.narodinfo.ru
трансляция online

| | |
|------------------|----------|
| в Москве | 612кГц |
| в Самаре | 1107кГц |
| в Мурманске | 68,21МГц |
| в Краснодаре | 68,72МГц |
| в Горно-Алтайске | 68,00МГц |

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC AMERICAN **В мире науки**

www.sciam.ru
 Подробности по телефонам:
 105-03-72 и 727-35-30



МОЗГ И СОЗНАНИЕ

АЛЬМАНАХ

Нейробиология
 Структуры и функции
 Психология
 Наука о человеке

В 2006 году выходит в свет сборник лучших материалов журнала «В мире науки», посвященный тайнам сознания человека и процессам, происходящим в мозге

Читайте в следующем номере:



ЗЕРКАЛА СОЗНАНИЯ

Особая разновидность клеток мозга отражает внешний мир, открывая для человека новые пути понимания, обучения и связи с реальностью

АУТИЗМ: ТЕОРИЯ РАЗБИТОГО ЗЕРКАЛА

Изучение отражающей функции нейронной системы поможет специалистам обнаружить причины развития аутизма и выработать новые способы диагностики и лечения этого заболевания

ТЕМНЫЕ ВЕКА ВСЕЛЕННОЙ

Астрономы заполняют пустые страницы в детском фотоальбоме Вселенной

ПРОИСХОЖДЕНИЕ СОЗВЕЗДИЙ

Испокон веков люди видели в расположении звезд на небе различные фигуры — богов, героев, животных, орудия труда. История небесных картин — это летопись эволюции сознания человека и возникновения науки астрономии

ОЖИВЛЯЯ МЕРТВЫЕ ЗОНЫ

Как мы можем спасти внутренние моря, чья экосистема нарушена, а то и разрушена в результате человеческой деятельности?

МОБИЛЬНАЯ АТАКА

Компьютерные вирусы теперь передаются буквально по воздуху. Под ударом — сотовые телефоны

СВЕРХПРОВОДНИКОВОЕ ЗРЕНИЕ

Миниатюрные устройства, сделанные из сверхпроводниковых материалов, действуют как прекрасные сенсоры фотонов и других частиц. Их применение совершит революцию во многих теоретических и прикладных областях

КАК ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ/ЗАКАЗ НА ЖУРНАЛ «В МИРЕ НАУКИ»

1. Указать в бланке заказа/подписки те номера журналов, которые Вы хотите получить, а также Ваш полный почтовый адрес.
2. Оплатить заказ/подписку в отделении Сбербанка (для удобства оплаты используйте квитанцию, опубликованную ниже). Оплату можно произвести также при помощи любой другой платежной системы по указанным в этой квитанции реквизитам.
3. Выслать заполненный бланк заказа/подписки вместе с копией квитанции об оплате:

- по адресу 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 22, редакция журнала «В мире науки»;
- по электронной почте distr@sciam.ru;
- по факсу 105-03-72.

Подписку можно оформить со следующего номера.

БЛАНК ЗАКАЗА ПРЕДЫДУЩИХ НОМЕРОВ ЖУРНАЛА

Я заказываю следующие номера журнала «В мире науки» (отметить галочкой):

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 2007 г. | | | | | | | | | | | | |
| 2006 г. | | | | | | | | | | | | |
| 2005 г. | | | | | | | | | | | | |
| 2004 г. | | | | | | | | | | | | |
| 2003 г. | | | | | | | | | | | | |

Ф.И.О. _____
 Индекс _____
 Область _____
 Город _____
 Улица _____
 Дом _____ Корп. _____ Кв. _____
 Телефон _____
 E-mail: _____

Цена за один номер журнала **65 руб. 00 коп.**

БЛАНК ПОДПИСКИ

- Я хочу подписаться на 6 номеров журнала «В мире науки» и плачу **540 руб. 00 коп.**
- Я хочу подписаться на 12 номеров журнала «В мире науки» и плачу **1080 руб. 00 коп.**

Цена за один номер журнала по подписке в 2007 г. **90 руб. 00 коп.**

Ф.И.О. _____
 Индекс _____
 Область _____
 Город _____
 Улица _____
 Дом _____ Корп. _____ Кв. _____
 Телефон _____
 Дата рождения ____/____/20____

ЗАО «В мире науки»
 Расчетный счет 40702810100120000141
 в ОАО «Внешторгбанк» г. Москва БИК 044525187
 Корреспондентский счет 30101810700000000187
 ИНН 7709536556; КПП 770901001

 Фамилия, И.О., адрес плательщика

| Вид платежа | Дата | Сумма |
|--|------|-------|
| Подписка на журнал «В мире науки» на _____ номеров | | |
| Плательщик | | |

ЗАО «В мире науки»
 Расчетный счет 40702810100120000141
 в ОАО «Внешторгбанк» г. Москва БИК 044525187
 Корреспондентский счет 30101810700000000187
 ИНН 7709536556; КПП 770901001

 Фамилия, И.О., адрес плательщика

| Вид платежа | Дата | Сумма |
|--|------|-------|
| Подписка на журнал «В мире науки» на _____ номеров | | |
| Плательщик | | |

ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ МОЖНО:

- по каталогам «Пресса России», подписной индекс 45724; «Роспечать», подписной индекс 81736; изданий органов НТИ, подписной индекс 69970; «Почта России», подписной индекс 16575
- на Украине по каталогу подписных изданий агентства KSS, подписной индекс 69970

■ Все номера журналов можно купить в редакции журнала по адресу: ул. Радио, дом 22, комн. 409, тел./факс (495) 105-03-72

■ В ООО «Едиториал УРСС» по адресу: проспект 60-летия Октября, д. 9, оф. 203, тел./факс (495) 135-42-16.

■ В книжных магазинах научного центра «ФИЗМАТКНИГА» (тел. 409-93-28): г. Долгопрудный, новый корпус МФТИ; г. Зеленоград, МИЭТ, 4-й корпус

■ В интернет-магазинах:
www.ozon.ru,
www.setbook.ru,
www.urss.ru.



SIPNET

формула новой связи

1) Почему SIPNET?

Потому что SIPNET — это бесплатное общение в любой точке мира, где есть Интернет...

2) Для кого?

Для всех пользователей, имеющих доступ в Интернет...

3) Как подключиться?

Зарегистрируйтесь на www.sipnet.ru и получите персональный сетевой номер...

Присоединяйтесь к SIPNET!

SIPNET - это сеть интернет-телефонии нового поколения, в которой реализованы последние достижения в области инфокоммуникаций, обеспечивающие эффективный обмен голосовой и мультимедийной информацией. SIPNET предоставляет пользователям широкий спектр персонализированных услуг с возможностью управления ими.

Все пользователи SIPNET получают возможность настраивать стоимость и качество соединений по любому направлению, заказывать от своего имени и за свой счет связь для двух абонентов в любых точках мира, переадресовывать входящие звонки с SIP ID на любое абонентское устройство, анализировать статистику совершенных соединений и управлять всеми сервисами SIPNET в режиме on-line.

Среди главных преимуществ SIPNET - альтернативная нумерация.

Каждый пользователь становится владельцем персонального сетевого номера - SIP ID, являющегося единым идентификатором пользователя в любой точке мира. SIP ID также является e-mail адресом абонента, с функцией голосовой почты.

Вы можете построить собственную виртуальную сеть общения, все разговоры внутри которой будут бесплатными.



www.sipnet.ru

Россия, г. Москва, 117997,
ул. Профсоюзная, д. 84/32, ИКИ РАН
+7 (495) 974-19-25
+7 (800) 200-99-91

1 место в общероссийском общественном рейтинге вузов

КАЧЕСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ – ПУТЬ К УСПЕШНОЙ КАРЬЕРЕ



Факультеты:

- аспирантура
- программа MBA
- комедж Rosnou
- комедж СНГ
- государственный диплом
- трудоустройство выпускников
- юридический
- финансово-экономический
- социально-культурного сервиса
- психологии и педагогики
- гуманитарных и медиатехнологий
- второго высшего образования
- иностранных языков
и межкультурной коммуникации
- информационных систем
и компьютерных технологий

Отсрочка от призыва на военную
службу для лиц, обучающихся
по очной форме обучения

Адрес приемной комиссии:

ул. Радио, д. 22 Тел.: (495) 105-03-88

Проезд: от метро «Бауманская» — трамваи №37, 45, 50,

от метро «Курская» и «Чкаловская» — трамвай №24,

от метро «Авиамоторная» — трамвай №24, 37, 50

до остановки «Лефортовская набережная, Rosnou»

Сайт в Интернете: www.rosnou.ru