



Стэн Гибилиско

# АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

## ПУТЕВОДИТЕЛЬ

НИЙ  
БЕЗ  ТАИН

Вся правда  
об атомной  
энергетике



Что будет,  
когда кончатся  
нефть и уголь?

Самые  
перспективные  
разработки





Стэн Гибилиско

# АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ПУТЕВОДИТЕЛЬ

БЕЗ ТАЙН



Stan Gibilisco

# ALTERNATIVE ENERGY

**A SELF-TEACHING GUIDE**

**DEMYSTIFIED**

McGraw-Hill



Стэн Гибилиско

# АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

## ПУТЕВОДИТЕЛЬ

БЕЗОПАСНО

МОСКВА  
2010



УДК 620.9+621.31  
ББК 31.227  
Г 46

Перевод с английского *А. В. Соловьева*

**Гибилиско С.**  
Г 46      **Альтернативная энергетика без тайн / Стэн Гибилиско ; [пер. с англ. А. В. Соловьева]. — М. : 2010. — 368 с. — (Без тайн).**  
ISBN 978-5-699-36367-4

Вот уже многие годы ученые предсказывают скорое иссякание запасов нефти и угля. Что же может прийти им на смену? Какие технологии могут предотвратить энергетическую катастрофу? Займет ли солнечная энергетика место современных гидро- и тепло-электростанций? Так ли опасны АЭС? В этой книге вы найдете ответы на многочисленные вопросы от самых простых до самых сложных и интересных. Задания для самопроверки помогут читателю протестировать полученные знания.

**УДК 620.9+621.31  
ББК 31.227**

**ISBN 978-5-699-36367-4**

© 2007 by The McGraw-Hill Companies, Inc.  
All rights reserved.

# Оглавление

<b>ГЛАВА 1. Отопление дровами, кукурузным зерном и углем</b> . . . . .	9
Энергия, мощность и теплота . . . . .	9
Дровяная печь . . . . .	11
Печи на пеллетах . . . . .	17
Печи на кукурузном зерне . . . . .	20
Угольные печи . . . . .	22
Контрольные вопросы . . . . .	26
<b>ГЛАВА 2. Отопление жидким топливом и газом</b> . . . . .	29
Системы воздушного отопления . . . . .	29
Бойлеры, радиаторы и отопление под полом . . . . .	33
Система отопления на жидком топливе (солярке) . . . . .	36
Система отопления с использованием метана (природного газа) . . . . .	39
Системы отопления на пропане . . . . .	43
Контрольные вопросы . . . . .	45
<b>ГЛАВА 3. Отопление и охлаждение с помощью электричества</b> . . . .	49
Температура . . . . .	49
Система обогрева на резистивных элементах . . . . .	52
Принципы охлаждения . . . . .	60
Электрические тепловые насосы . . . . .	64
Контрольные вопросы . . . . .	69



## Оглавление

<b>ГЛАВА 4. Пассивные системы обогрева на солнечной энергии . . . .</b>	<b>73</b>
Окна на солнечной стороне . . . . .	73
Теплоаккумулирующая масса . . . . .	76
Окна в крыше и покрытие потолка . . . . .	78
Системы нагрева воды при помощи солнечной энергии . . . . .	82
Дом на склоне холма . . . . .	85
<i>Контрольные вопросы . . . . .</i>	<i>88</i>
 <b>ГЛАВА 5. Экзотические методы управления климатом в доме . . . .</b>	 <b>91</b>
Непосредственное управление климатом с помощью ветряных силовых установок. . . . .	91
Непосредственное управление климатом с помощью гидроэлектрических установок. . . . .	95
Непосредственное управление климатом с помощью фотоэлементов . . . . .	98
Охлаждение с помощью теплоаккумулирующих масс . . . . .	101
Испарительное охлаждение . . . . .	105
Подземные жилища . . . . .	109
<i>Контрольные вопросы . . . . .</i>	<i>111</i>
 <b>ГЛАВА 6. Двигатели на традиционном топливе . . . . .</b>	 <b>115</b>
Транспортные средства с бензиновым двигателем . . . . .	115
Транспортные средства с дизельными двигателями . . . . .	120
Традиционное топливо реактивных двигателей . . . . .	123
Традиционное ракетное топливо . . . . .	127
<i>Контрольные вопросы . . . . .</i>	<i>132</i>
 <b>ГЛАВА 7. Двигатели на метане, пропане и биотопливе . . . . .</b>	 <b>135</b>
Использование метана в качестве топлива для двигателей . . . . .	135
Использование пропана в качестве топлива для двигателей . . . . .	138
Использование этанола в качестве топлива для двигателей . . . . .	140
Использование биодизеля в качестве топлива для двигателей . . . . .	145
<i>Контрольные вопросы . . . . .</i>	<i>149</i>
 <b>ГЛАВА 8. Двигатели на электроэнергии, водороде и топливных элементах . . . . .</b>	 <b>151</b>
Электромобили . . . . .	151
Гибридные электромобили . . . . .	158
Гибридные электромобили последовательного типа . . . . .	158



Гибридные электромобили параллельного типа . . . . .	160
Автомобили на водородном топливе . . . . .	163
Автомобили на топливных элементах . . . . .	167
<i>Контрольные вопросы</i> . . . . .	171
<b>ГЛАВА 9. Экзотические силовые установки (двигатели на нестандартных принципах)</b> . . . . .	175
Магнитный подвес . . . . .	175
Maglev — поезд на магнитной подушке . . . . .	183
Суда с ядерными двигателями . . . . .	186
Ионная ракета . . . . .	190
Космические корабли на термоядерных двигателях . . . . .	192
Солнечный парус . . . . .	196
<i>Контрольные вопросы</i> . . . . .	200
<b>ГЛАВА 10. Ископаемое топливо как источник электроэнергии</b> . . . . .	203
Электростанции на угле . . . . .	203
Электростанции на нефтепродуктах . . . . .	209
Электростанции на метане . . . . .	213
Автономные электрогенераторы . . . . .	217
<i>Контрольные вопросы</i> . . . . .	222
<b>ГЛАВА 11. Гидро- и ветроэнергетика</b> . . . . .	225
Большие и средние гидроэлектростанции . . . . .	225
Малая гидроэнергетика . . . . .	229
Приливная плотина . . . . .	231
Волновые электростанции . . . . .	236
Крупные ветроэлектростанции . . . . .	239
Малая ветроэнергетика . . . . .	245
<i>Контрольные вопросы</i> . . . . .	252
<b>ГЛАВА 12. Атомная и солнечная энергия</b> . . . . .	255
Атом . . . . .	255
Синтез водорода как источник электроэнергии . . . . .	262
Фотоэлектрическая энергетика . . . . .	271
Солнечные энергоцентры . . . . .	280
Малые фотоэлектрические системы . . . . .	283
<i>Контрольные вопросы</i> . . . . .	289



## Оглавление

<b>ГЛАВА 13. Экзотические способы получения электричества</b> . . . . .	291
Геотермальная энергия . . . . .	291
Геотермальные и паротермальные электростанции . . . . .	292
Энергия из биомассы . . . . .	296
Малые электростанции на топливных элементах . . . . .	301
<i>Контрольные вопросы</i> . . . . .	310
<b>Заключительный экзамен</b> . . . . .	313
<b>Ответы</b> . . . . .	345
<b>Предметный указатель</b> . . . . .	347

# Глава 1

## Отопление дровами, кукурузным зерном и углем

Кому-то приходится сжигать растительное или твердое ископаемое топливо просто для того, чтобы не замерзнуть. Для других такое топливо дешевле или доступнее, чем более традиционные виды топлива, — метан, пропан или жидкое топливо. Давайте поговорим о некоторых «примитивных», но прошедших проверку временем способах отопления. Основные системы отопления, описанные в этой книге, являются типичными, но имеют много разновидностей.

### Энергия, мощность и теплота

Приходилось ли вам слышать, как термины *энергия*, *мощность* и *теплота* используют один вместо другого, как будто бы они имеют одинаковое значение? Но ведь это не так! Энергия — это мощность, накапливающаяся или расходуемая за определенное количество времени. Мощность — это скорость, с которой расходуется энергия. Теплота — это один из способов передачи энергии, вызывающий изменение температуры. Энергия, мощность и теплота могут выражаться по-разному и существовать в разных видах.

#### джоуль

Физики измеряют и выражают энергию, независимо от ее вида, в единицах, называемых *джоулями*. Один джоуль (1 Дж) эквивалентен одному *ватту* (1 Вт) мощности, израсходованной, излученной или рассеянной за время, равное одной *секунде* (1 с). Джоуль эквивалентен *ватт-секунде*, а ватт эквивалентен *джоулю в секунду*. Запишем это математически:

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Вт} \times \text{с},$$

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}.$$



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

Для электронагревательных устройств вы рассчитываете *ватт-часы* ( $\text{Вт} \times \text{ч}$ ) или *киловатт-часы* ( $\text{кВт} \times \text{ч}$ ). Ватт-час соответствует 1 Вт, рассеянному за 1 час, а 1  $\text{кВт} \times \text{ч}$  — одному *киловатту* (1 кВт) мощности, рассеянному за 1 час. Заметим, что 1 кВт = 1000 Вт. Поэтому

$$1 \text{ Вт} \times \text{ч} = 3600 \text{ Дж},$$

$$1 \text{ кВт} = 3\,600\,000 \text{ Дж} = 3,6 \times 10^6 \text{ Дж}.$$

### КАЛОРИЯ

Реже используется единица теплоты, называемая *калория*. Одна калория (1 кал) — это количество энергии, затрачиваемой на нагревание одного грамма (1 г) чистой воды (находящейся в жидком состоянии) на один градус Цельсия (1 °C). Или наоборот — это количество энергии, теряемое 1 г чистой воды, если его температура падает на 1 °C. *Килокалория* (ккал), называемая также *диетической калорией*, — это количество энергии, затрачиваемой для того, чтобы температура одного килограмма (1 кг) чистой воды увеличилась или уменьшилась на один градус Цельсия (1 °C). Установлено, что 1 кал = 4,184 Дж, а 1 ккал = 4184 Дж<sup>1</sup>.

Это определение калории остается справедливым только до тех пор, пока вода во всем объеме остается жидкостью в течение всего процесса. Если хотя бы часть воды замерзает, тает, закипает или конденсируется, это определение некорректно. При нормальном атмосферном давлении на поверхности Земли это определение остается верным в диапазоне температур примерно от 0 °C (точка замерзания воды) до 100 °C (точка кипения воды).

### БРИТАНСКАЯ ТЕПЛОВАЯ ЕДИНИЦА (БТЕ)

В США для характеристики домашних систем отопления используется старинная единица измерения энергии — *Британская тепловая единица* (БТЕ/ВТУ). Эти единицы упоминаются в рекламах печей и кондиционеров. Одна Британская тепловая единица (1 БТЕ) — это количество энергии, затрачиваемой на нагревание одного фунта (1 фунт) чистой жидкой воды на один градус Фаренгейта (1 °F). Или наоборот — это количество энергии, которое теряет один фунт чистой воды, если его температура падает точно на 1 °F. Это определение, так же как и определение калории, будет справедливым только до тех пор, пока вода во всем объеме остается жидкостью.

<sup>1</sup> В России принято, что 1 кал = 4,1868 Дж, а 1 ккал = 4186,8 Дж согласно 5-й Международной конференции по свойствам водяного пара. — *Прим. пер.*



## ГЛАВА 1 Отопление дровами, кукурузным зерном и углем



Использовать БТЕ для характеристики нагревательной способности печи или охлаждающей способности кондиционера неправильно. Эти характеристики описываются скоростью передачи энергии, которая выражается в *Британских тепловых единицах в час* (БТЕ/ч), а не полным количеством передаваемой энергии, выражаемым в Британских тепловых единицах. В действительности нагревательная способность печи определяется мощностью, а не энергией. 1 БТЕ = 1055 Дж. Другие, более полезные соотношения:

$$1 \text{ БТЕ/ч} = 0,293 \text{ Вт},$$

$$1000 \text{ БТЕ/ч} = 293 \text{ Вт}.$$

И наоборот:

$$1 \text{ Вт} = 3,41 \text{ БТЕ/ч},$$

$$1 \text{ кВт} = 3410 \text{ БТЕ/ч}.$$

Домашняя печь имеет нагревательную способность (мощность) 100 000 БТЕ/ч, что эквивалентно 29,3 кВт. Это примерно соответствует мощности, потребленной двадцатью портативными электронагревателями, включенными на полную мощность.

### СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛОТЫ

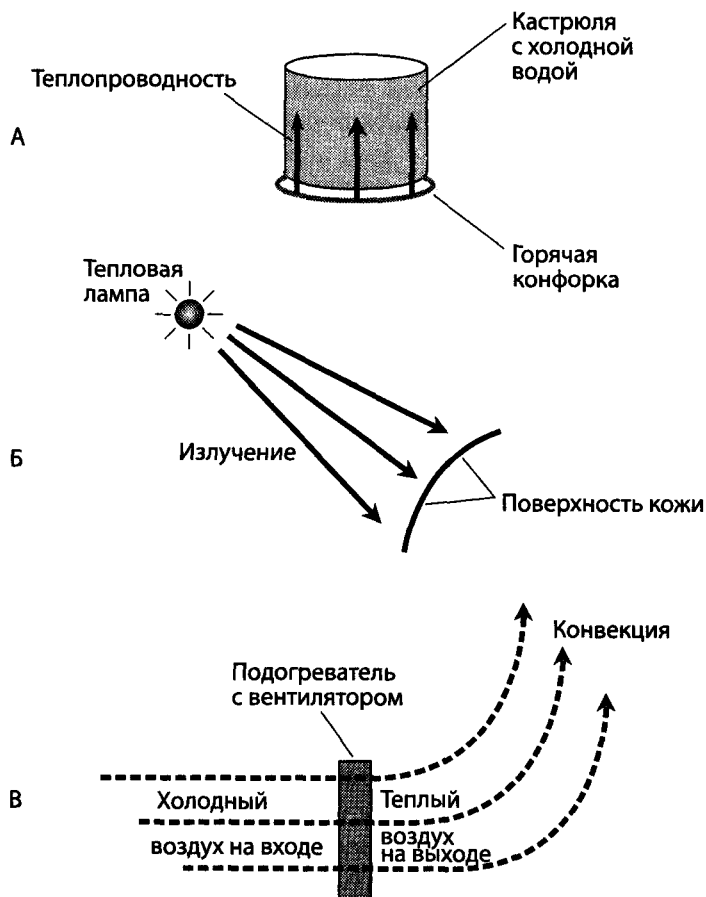
На горячей плите теплота передается от конфорки к кастрюле с водой. Это способ передачи теплоты за счет *теплопроводности* (рис. 1.1, А). Когда *инфракрасная* (ИК) лампа светит на ваше большое плечо, энергия передается на поверхность вашей кожи от нити накаливания лампы. Это способ передачи теплоты посредством *излучения (радиации)* (рис. 1.1, Б). Когда электронагреватель с вентилятором обогревает комнату, воздух проходит через нагревательные элементы, затем вдувается в комнату, где нагретый воздух поднимается вверх и смешивается с остальным воздухом комнаты. Это способ передачи теплоты с помощью *конвекции (переноса)* (рис. 1.1, В).

## Дровяная печь

Отопление *дровами* — это самый древний способ получения тепла искусственным путем. В последние годы конструкция *дровяных печей* усложнилась, их стали оснащать оптимизированной системой подачи воздуха с вентиляторами, термостатами и *каталитическими конвертерами*, похожими на те, которые используются в устройствах контроля выхлопных газов автомобиля.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн



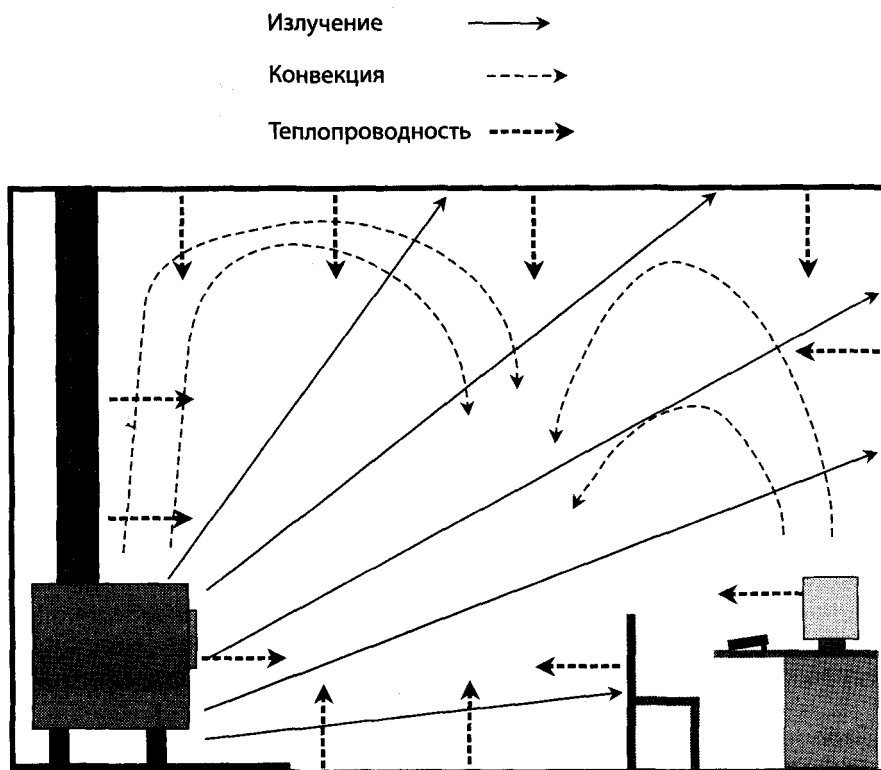
**Рис. 1.1.** Примеры передачи тепловой энергии посредством теплопроводности (А), излучения (Б) и конвекции (В)

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

В дровяной печи регулируемый огонь нагревает тяжелый чугунный корпус печи, который, в свою очередь, испускает теплоту в виде излучения. Эта ИК-энергия нагревает стены, пол, потолок и мебель. В результате, кроме излученной печью теплоты, воздух получает дополнительную теплоту еще и благодаря теплопроводности, непосредственно контактируя с горячей печью и нагретыми стенами, потолком, полом и мебелью. Нагретый воздух поднимается,



вызывая непрерывную циркуляцию воздуха (конвекцию), которая способствует выравниванию температуры по всей комнате. Поэтому дровяная печь нагревает комнату, используя все три способа, известных физикам (рис. 1.2).



**Рис. 1.2.** Дровяная печь нагревает комнату, используя три способа передачи тепла: за счет излучения, конвекции и теплопроводности

Хорошая дровяная печь сможет нагреть большую комнату за приемлемое время, даже если температура на улице значительно ниже нуля. Если дровяную печь установить на фундаменте дома рядом с системой забора воздуха основной системы отопления, ее вентилятор может обеспечить циркуляцию нагретого воздуха по всему дому, даже если сама система отопления не работает. Таким образом, большая дровяная печь может поддерживать средний уровень тепла в доме всегда, исключая самые холодные дни.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

На рисунке 1.3 изображена типичная дровяная печь в разрезе, если смотреть на нее сбоку. *Заборник первичного воздуха* всегда обеспечивает поступление небольшого количества воздуха в *топку*. Интенсивность горения может регулироваться с помощью *вторичного воздухозаборника*. Открывая его клапан, увеличиваем интенсивность горения и, соответственно, повышаем температуру. Закрывая, уменьшаем интенсивность горения до минимума. *Каталитический конвертер* превращает большую часть энергии, содержащейся в дыме, в полезное тепло, а также уменьшает загрязнения, которые выходят в *дымоход*. (При желании каталитический конвертер можно исключить из процесса.) Большая дровяная печь в нормальных условиях может иметь мощность свыше 150 000 БТЕ/ч. Это сравнимо с мощностью большой газовой печи.

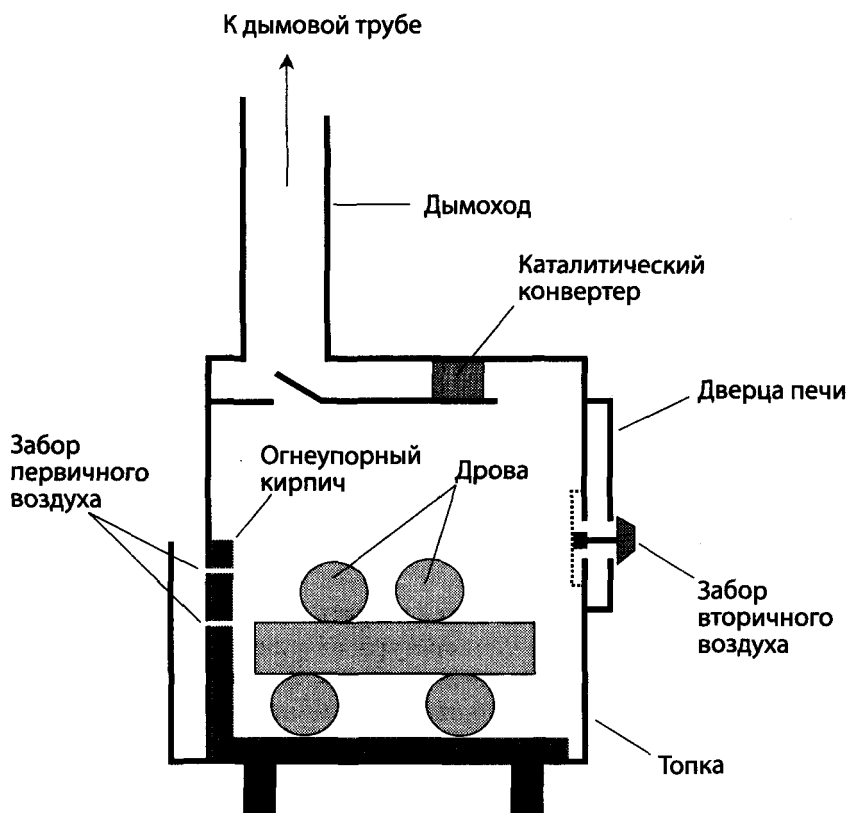


Рис. 1.3. Современная дровяная печь (вид сбоку в разрезе)



Прекрасное описание работы дровяной печи, а также дровяного топлива в общих чертах содержится в маленькой книжке Ральфа Ричи «*Все, что нужно знать о дереве на практике*» (Springfield. Oregon: Ritchie Unlimited Publications, 1998). Однако ни эта книга, ни та, что вы сейчас читаете, не являются пособиями по безопасности. Если у вас возникли какие-то сомнения по поводу установки и использования дровяных печей после чтения их инструкций по эксплуатации, свяжитесь с местной пожарной инспекцией, которая в любом случае будет проверять вашу систему.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ДРОВЯНОЙ ПЕЧИ

- Дровяная печь не требует никаких внешних источников энергии, чтобы обогревать комнату, в которой она стоит. Если эта комната на нижнем этаже, то двери ее можно оставить открытыми так, чтобы теплый воздух поднимался вверх и обогревал остальную часть дома. В этом случае дровяная печь может служить резервным источником тепла, если основное отопление отключилось.
- Дрова — это возобновляемое топливо. Деревья могут быть специально выращены и спилены, чтобы обеспечить топливо для обогрева, так же как они выращиваются и спиливаются для обеспечения пиломатериалами строительства.
- Сжигание дров в печи может минимизировать отходы. Деревья, которые так или иначе были бы сожжены на мусорной свалке или создавали бы пожароопасную ситуацию (например, сухостой в лесу), могут быть собраны, распилены и использованы для отопления домов.
- Частое и регулярное использование дровяных печей может существенно уменьшить стоимость отопления дома обычными способами. Это может также смягчить влияние неожиданного серьезного дефицита природного газа или нефти.
- Для некоторых людей дровяные печи имеют эстетическую привлекательность.

### НЕДОСТАТКИ ДРОВЯНОЙ ПЕЧИ

- Дровяные печи могут быть опасными! Перед их установкой и использованием прочтите инструкцию по эксплуатации. Вы должны надеть защитные очки и полностью себя обезопасить (включая руки) огнеупорной одеждой, когда работаете возле топящейся печи.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Следует приобрести и хранить запас сухих напиленных дров. Бревна должны быть разрублены и распилены по длине так, чтобы они легко входили в топку и хорошо помещались в ней. Все это может быть неудобно и хлопотно. В некоторых местностях дрова могут оказаться слишком дорогими.
- Дерево нужно просушивать по крайней мере 12 месяцев после рубки, а лучше — 18 месяцев. Свежесрубленное дерево содержит много влаги, и дрова из него горят неэффективно (а иногда и совсем не горят).
- Огонь требует постоянного внимания.
- Дрова — это относительно неэффективный источник топлива. Ни одна дровяная печь не сравнится по эффективности с первоклассной газовой печью.
- Дровяная печь требует частой очистки. Зола и уголь должны полностью остыть перед удалением, и это время включается в период простоя печи.
- Дымовую трубу нужно регулярно прочищать, чтобы избежать образования *сажи*, которая может воспламениться и вызвать опасный *пожар в дымоходе* (или *пожар в дымовой трубе*).
- В некоторых местностях использование дровяных печей ограничено или запрещено. Некоторые страховые компании не выдают страховой полис на дом, в котором есть дровяная печь.
- Если вы хотите обогревать весь дом с помощью одной дровяной печи, то в комнате, где она установлена, будет слишком жарко.

### Задача 1.1

Что можно сжечь в дровяной печи, кроме дров, чтобы получить тепло? Как насчет древесного угля, каменного угля или горючих жидкостей?

### Решение 1.1

Большинство дровяных печей сконструированы так, что их можно топить только определенным образом распиленными сухими дровами и ничем иным. Древесный и каменный уголь выделяют слишком много теплоты. Использование любого жидкого топлива может вызвать взрыв и моментально спалить вещи, ковры и мебель. Вместе с тем есть печи, специально сконструированные так, чтобы их можно было топить не только дровами, но и углем. Об этом мы расскажем дальше в разделе «Угольные печи».



## Печи на пеллетах

Существует более эффективный, чистый и безопасный способ топить деревом, чем старый способ использования «вязанок дров». На лесопилках опилки прессуются в гранулы (*пеллеты*), которыми можно топить печи.

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

На рисунке 1.4 приведена упрощенная функциональная схема печи на пеллетах. Пеллеты — это гранулы, которые немного похожи на сухой корм для животных, их нужно засыпать в *бункер*. Система подачи гранул, обычно состоящая из *электромотора* и *шнека* или другого механического приспособления, загружает их в топку со скоростью, которая может быть выбрана вручную или автоматически в зависимости от типа печи или предпочтения пользователя.

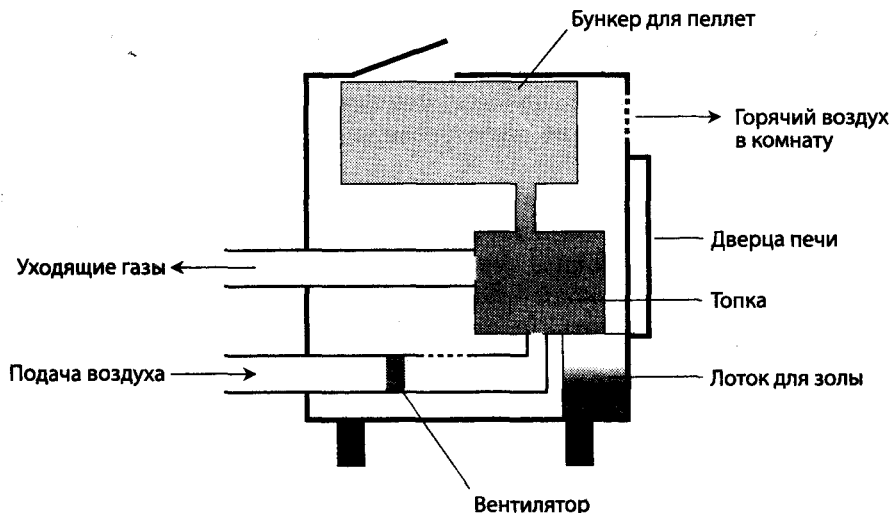


Рис. 1.4. Упрощенная функциональная схема печи на пеллетах

Пеллеты при засыпке образуют слишком плотный слой, чтобы эффективно гореть. Вы не можете просто загрузить гранулами обычную дровяную печь и надеяться, что она будет работать. Чтобы обеспечить горение, необходимо прокачивать воздух через кучу гранул. Воздух можно брать извне, чтобы не создать в доме пониженное





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

давление, из-за чего холодный воздух может быть затянут внутрь. Дым также нужно выпустить наружу. Теплый чистый воздух из печи после нагревания в топке и через *теплообменник* из гофрированного металла вдувается в комнату.

Печи на пеллетах имеют одинаковую базовую конструкцию, отличаясь по размерам. Горячий воздух из печи втягивается в воздухоход и циркулирует по всему дому. Печи на пеллетах могут быть установлены вместо газовых печей с принудительной воздушной тягой после небольшой модификации системы распределения воздуха. Автономные бытовые печи на пеллетах обеспечивают от 30 000 до 70 000 БТЕ/ч. Промышленные печи могут иметь существенно большую мощность.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ПЕЧЕЙ НА ПЕЛЛЕТАХ

- Печи на пеллетах более эффективны, чем дровяные печи. Гранулы очищены, в них минимум влаги, мало или совсем нет смолы (сока), нет грязи, насекомых, коры. В результате получается больше тепла, меньше загрязнений и меньше золы на килограмм топлива.
- Печи на пеллетах безопаснее, чем дровяные печи. Поверхность печи на пеллетах не перегревается (за исключением стекла дверцы).
- В печи на пеллетах температура регулируется проще, чем в дровяной печи. Печь на пеллетах не требует постоянного контроля. Вы можете установить термостат и достаточно надолго забыть о ней, только периодически пополнять бункер.
- Золу можно удалить, не дожидаясь остывания печи.
- Печи на пеллетах не требуют дымовых труб. Вытяжная труба может быть выведена из стены дома, так же как это делается при установке высокоэффективных газовых печей. Таким образом, здесь не происходит образования сажи.
- Печи на пеллетах могут быть разрешены в тех областях или районах, где дровяные печи запрещены.

### НЕДОСТАТКИ ПЕЧЕЙ НА ПЕЛЛЕТАХ

- Если отключится напряжение в сети, то печь на пеллетах не сможет работать, если ее не снабдить *резервным аккумулятором* или если у вас нет резервной системы электроснабжения. Это происходит потому, что для вентилятора и мотора(ов) необходимо электричество.



- Печи на пеллетах имеют сложную внутреннюю электронику. Эти электронные схемы, практически такие же, как в современных газовых печах, определяют срок службы системы — пока не откажут компоненты. После чего вся установка выходит из строя и не может работать до тех пор, пока квалифицированный специалист не починит ее. Любая печь на пеллетах должна иметь *сетевой фильтр* для того, чтобы исключить риск выхода из строя электронной системы из-за скачков напряжения в сети.
- Если посторонние предметы окажутся в системе подачи пеллет, возникнет затор, который приведет к остановке работы печи. Если вас день-другой не было дома, когда это случилось, то вы вернетесь в холодный дом.
- Пеллеты, вполне доступные в одних местностях, бывает трудно найти в других. И вам нужно будет иметь их запасы так же, как запасы дров для дровяной печи.
- Пеллеты пакуются в тяжелые мешки, обычно весящие 18 кг, т. е. 40 фунтов. В холодную погоду бункер должен заполняться пеллетами раз в день, а то и чаще. Это значит, что вам придется поднимать и перетаскивать много таких мешков.

### Задача 1.2

Может ли дровяная печь или печь на пеллетах быть безопасно подсоединена к той же вытяжной трубе, что и другое применяемое оборудование, например газовая печь?

### Решение 1.2

Единая дымовая труба может включать много труб (изолированных огнеупорных воздухопроводов, выходящих наружу), каждая из которых обслуживает свое оборудование. Но такая дымовая труба должна проверяться пожарным инспектором и страховой компанией, прежде чем запускается любое оборудование. *У каждой дровяной печи должна иметься своя отдельная труба. Попытка сделать общую трубу для дровяной печи или печи на пеллетах и для любого другого оборудования может привести к проблемам.* В местных законах не всегда это разъясняется, но после недолгих поисков в Интернете вы сами убедитесь, что для того, чтобы сохранить здоровье и деньги и жить в неповрежденном доме, не нужно подсоединять дровяные печи, печи на пеллетах и любое другое оборудование к одной и той же вытяжной трубе.



### Печи на кукурузном зерне

Альтернативой гранулированным опилкам могут быть очищенные сухие кукурузные зерна, которыми тоже можно топить печи. *Печи на кукурузном зерне* во многом похожи на печи на пеллетах, но имеют несколько существенных отличий.

#### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Рисунок 1.4, представленный выше, может служить упрощенной функциональной схемой печи на кукурузном зерне. Наиболее очевидное различие между печью на гранулированных опилках и печью на кукурузном зерне заключается в том, что во втором случае вместо пеллет в бункер засыпаются кукурузные зерна, счищенные с початков. Система подачи доставляет зерна в топку.

Есть и второе отличие между печью на пеллетах и печью на кукурузном зерне. Кукуруза, в отличие от дерева, содержит заметное количество *этанол*<sup>2</sup> (этот же этанол используется в качестве добавки в таких видах альтернативного автомобильного топлива, как *газохол*<sup>3</sup> и *E85*<sup>4</sup>), тогда как в дереве его нет. Этанол горит с большим выделением теплоты, чем дерево.

Кроме того, в кукурузных зернах есть масло (таким маслом вы, возможно, пользуетесь, поджаривая еду), и оно также горит с большим выделением теплоты, чем дерево, хотя гораздо медленнее, чем этанол<sup>5</sup>.

Отходы в печах на кукурузном зерне накапливаются в виде *шлака*, похожего на куски высококонцентрированного угля. Шлак надо периодически удалять и выбрасывать, так же как золу из печей на пеллетах. Отходов в системах на кукурузном зерне много больше, чем в системах на пеллетах.

Небольшие печи на кукурузном зерне обеспечивают примерно от 30 000 до 70 000 БТЕ/ч. Большие печи на кукурузном зерне, предназначенные для систем принудительного воздушного отопления домов, могут иметь гораздо большую мощность — свыше 100 000 БТЕ/ч.

---

<sup>2</sup> Ни в кукурузе, ни в дереве не содержится этанол, но он может быть получен из них за счет процессов осахаривания и брожения. — *Прим. ред.*

<sup>3</sup> Бензин с добавлением 10% этанола. — *Прим. пер.*

<sup>4</sup> Бензин с добавлением 85% этанола. — *Прим. пер.*

<sup>5</sup> Этанол как топливо для печей не применяется. — *Прим. ред.*



## **ПРЕИМУЩЕСТВА ПЕЧЕЙ НА КУКУРУЗНОМ ЗЕРНЕ**

- Печи на кукурузном зерне более эффективны, чем дровяные печи. Сухие и чистые зерна сгорают практически полностью. В результате вы получаете максимум теплоты при минимуме загрязнений и мусора.
- Печи на кукурузном зерне безопаснее, чем дровяные печи, по тем же причинам, что и печи на пеллетах.
- В системах отопления на кукурузном зерне проще регулировать температуру, как и в системах на пеллетах.
- Шлак можно удалить, не останавливая печь надолго, и от него меньше грязи, чем от золы, которая образуется при горении пеллет, а тем более дров.
- Для печи на кукурузном зерне, так же как и для печи на пеллетах, не требуется дымовая труба на крыше, так что все проблемы, связанные с нею, исчезают. Выходящие газы могут быть выведены наружу с помощью вытяжной трубы в стене дома.
- Печи на кукурузном зерне могут быть разрешены в местностях или районах, где дровяные печи запрещены.
- Если у вас есть друг-фермер, у которого почти каждый год остаются излишки кукурузы, вам вдвойне повезло.

## **НЕДОСТАТКИ ПЕЧЕЙ НА КУКУРУЗНОМ ЗЕРНЕ**

- Если отключится напряжение в сети, то печь на кукурузном зерне не сможет работать. Это та же проблема, что и у печей на пеллетах. Вы должны иметь резервную батарею, чтобы обеспечить работу шнека и вентилятора, но батарея должна быть заряжена заранее, притом она работает ограниченное время и не решит проблему, если электричество в сети пропадет больше чем на несколько часов.
- Печи на кукурузном зерне, так же как и их аналоги на пеллетах, имеют электронные схемы, которые чувствительны к скачкам напряжения в сети. Поэтому электронные системы печей на кукурузном зерне должны быть снабжены сетевыми фильтрами.
- Если посторонний предмет окажется в системе подачи, вы будете иметь те же неприятности, которые случаются в печах на пеллетах.
- Очищенное сухое кукурузное зерно, которое вполне доступно в одних местностях, может совсем отсутствовать в других, так что доставка его обойдется очень дорого.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### Задача 1.3

Не могут ли кукурузные зерна в печи иногда вдруг лопаться, вызывая шум и грязь и создавая опасность взрыва?

### Решение 1.3

Этого не произойдет в правильно работающих устройствах. Фактически зерна даже не сдавливаются и не растрескиваются. Если бы подобное случалось, то печи на кукурузном зерне не выдержали бы конкуренции на рынке.

## Угольные печи

Америка пока еще обладает большими запасами угля. По этой причине, а также из-за возрастающей стоимости обычного топлива и все еще экзотического характера более продвинутых технологий обогрева, угольные печи в последние годы стали популярными.

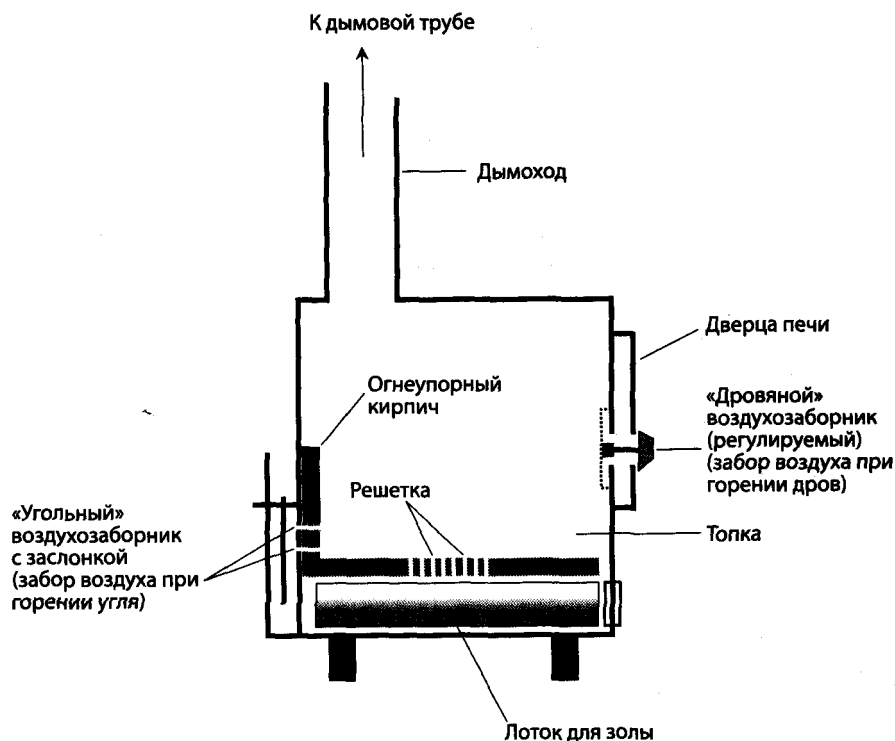
### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Угольные печи похожи на дровяные. Более того, существуют гибридные варианты, которые можно топить как углем, так и дровами. Главное отличие угольных печей от дровяных заключается в принципе действия системы подачи воздуха. Дрова горят лучше, если воздух поступает преимущественно сверху, а уголь — если воздух подается снизу.

На рисунке 1.5 представлена функциональная схема гибридной печи, которую можно топить как углем, так и дровами. Чтобы обеспечить горение дров, нужно закрыть заслонку «угольного» воздухозаборника, предназначенного для создания потока воздуха для горения угля, и использовать «дровяной» воздухозаборник, создающий регулируемый поток воздуха для горения дров, который влияет на интенсивность горения. Чтобы обеспечить горение угля, нужно закрыть «дровяной» воздухозаборник и открыть заслонку «угольного» воздухозаборника. В обоих случаях после сгорания топлива образуется зола, которая собирается в лотке на дне печи. Этот лоток нужно периодически вынимать и очищать. Некоторые угольные печи имеют заслонки, в системе регулировки которых используется термостат; это дает возможность менять воздушный поток и, соответственно, интенсивность горения угля. В более современных печах в «угольной» системе подачи воздуха может быть установлен вентилятор. Производители угольных печей рекомендуют покупать *уголь-антрацит* глубокого залегания. Использование



*битуминозного угля не рекомендуется. Торф и бурый уголь могут гореть, как дрова, в некоторых гибридных печах, но возможность их использования должна оговариваться в инструкции по эксплуатации.*



**Рис. 1.5.** Упрощенная функциональная схема гибридной печи, которая может топиться дровами или углем-антрацитом

Печи, предназначенные только для топки дровами, не могут топиться углем, так как в таких печах конструкция системы подачи воздуха не рассчитана на использование любого другого топлива, кроме сухих пиленых дров. Точно так же и печи, предназначенные только для топки углем, не могут топиться ничем, кроме антрацита.

### **ПРЕИМУЩЕСТВА УГОЛЬНОЙ ПЕЧИ**

- В районах, где уголь легкодоступен, его использование экономически оправдано. Это делает уголь предпочтительным то-



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

пливом для людей, проживающих в таких местностях (если вы к ним принадлежите, то это вам известно!).

- Антрацит горит чисто, вопреки распространенному мнению, что всякий уголь — это «грязь».
- Угольные печи эффективны и, если их правильно установить вместе с системой распределения воздуха, могут поддерживать комфортную температуру в маленьком доме даже при холодной погоде.
- Наличие угля и его цена не зависят от того, что происходит на сельскохозяйственном рынке, как это имеет место в случае кукурузного зерна.
- Бытовые угольные печи могут быть спроектированы без шнека или других электромеханических устройств для подачи топлива. Это исключает потенциальные проблемы, которые могут возникнуть при их наличии. Однако при желании пользователя могут быть предусмотрены электромеханические системы подачи.
- Частое и регулярное использование угольных печей в дополнение к обычным газовым печам или печам на жидком топливе позволит существенно уменьшить расходы на обогрев дома.
- Угольная печь может служить запасной системой обогрева в случае, если возникли перебои в других системах обогрева.

### НЕДОСТАТКИ УГОЛЬНОЙ ПЕЧИ

- Угольные печи могут быть пожароопасными по тем же причинам, что и дровяные.
- Запасы угля нужно разместить в доме. Это может быть неудобно и даже неприемлемо для некоторых людей.
- Хотя уголь и не создает столько загрязнений, как представляют некоторые, это все же не такое чистое топливо, как жидкое или газообразное.
- Горение угля требует много внимания, если только это не печь, в которую загружается много угля и в которой имеется автоматическая система подачи.
- Угольная печь требует частой очистки. Дымоход также нуждается в регулярной очистке и проверке.





- Если вы хотите обогреть весь дом с помощью одной угольной печи, то комната, где установлена печь, будет слишком жаркой, если не применяется система распределения воздуха.
- Уголь легкодоступен не во всех местностях.
- Некоторые областные или региональные власти ограничивают или запрещают применение угольных печей.

### Задача 1.4

Я читал рассказы об использовании угольных и дровяных печей в суровые зимы, когда пионеры осваивали Великие Северные Равнины Америки. В одной истории рассказывалось о том, что угольная печка так нагрелась, что раскалилась докрасна. Не опасно ли это?

### Решение 1.4

Если угольная или дровяная печь настолько перегревается, что начинает светиться, это значит, что горение слишком интенсивное. Перегрев будет постоянно вредить печке и может привести к тому, что ее топка внезапно разрушится. И тогда горящие угли окажутся на полу! Если вы считаете, что уголь или дрова слишком сильно разгорелись, ограничьте подачу воздуха.

### Задача 1.5

Предположим, вы решили в дополнение к обычному отоплению установить дровяную печь либо печь на пеллетах, на кукурузном зерне, угле (какую именно — вы в конце концов решите). Вас беспокоит пожарная безопасность. Что вы должны делать?

### Решение 1.5

Проконсультируйтесь с сотрудниками вашего пожарного отделения. Проконсультируйтесь с пожарным инспектором. Воспользуйтесь их знаниями! Получите все брошюры и другую информацию, какую только сможете, узнайте ваши местные законы, убедитесь, что ваша страховая компания знает и одобряет то, что вы делаете, и получите официальный акт об окончательной проверке систем после установки. Обзаведитесь огнетушителями и поместите их в легкодоступном месте, установите в доме датчики дыма и *окиси углерода* (СО), подготовьте план эвакуации на случай пожара. В некоторых городах и округах проводятся семинары и учебные занятия. Воспользуйтесь возможностью их посещать.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отвечая на эти вопросы, вы можете пользоваться текстом книги. Восемь правильных ответов — хороший результат. Ответы помещены в конце книги.

1. В каких из приведенных ниже единиц выражается тепловая мощность?
  - (а) Британские тепловые единицы в час (БТЕ/ч);
  - (б) Джоуль (Дж);
  - (в) калория (кал);
  - (г) киловатт-час (кВт × ч).
2. Что из нижеперечисленного является недостатком кукурузного зерна в качестве топлива?
  - (а) оно неэффективно горит;
  - (б) оно содержит этанол, который может вызвать взрыв при определенных обстоятельствах;
  - (в) оно содержит масло, которое испаряется, а затем осаждается в виде нагара;
  - (г) его не всегда легко найти.
3. Печь, сконструированная для использования напиленных сухих дров, работает лучше, когда:
  - (а) кукурузное зерно, пеллеты или уголь добавляются к дровам;
  - (б) дрова обдуваются воздухом, поступающим сверху через воздухозаборник;
  - (в) дрова обдуваются воздухом, поступающим снизу;
  - (г) используются дрова из свежеспиленной древесины, которые не сгорят слишком быстро.
4. Представьте, что вы построили дом в виде одной комнаты. Вы отопляете ее с помощью печи на дровах. Вы поставили печь в середину комнаты, а трубу вывели прямо вверх через крышу. Когда печь топится, теплый воздух поднимается в центре комнаты, растекается по потолку, опускается вдоль стен, затем он возвращается по полу к печи, где нагревается и снова поднимается вверх. Это пример распространения теплого воздуха по комнате посредством какого из следующих процессов?
  - (а) излучение;
  - (б) теплообмен;



- (в) конвекция;
  - (г) осаждение.
5. Лучшее топливо для печи, предназначенной только для топки углем, — это:
- (а) торф;
  - (б) бурый уголь;
  - (в) битуминозный уголь;
  - (г) антрацит.
6. Какая из следующих типов отопительных систем сможет работать, если напряжение в сети пропало, а резервный генератор или батарея отсутствуют?
- (а) печь, предназначенная для топки очищенным сухим кукурузным зерном;
  - (б) печь, предназначенная для топки пеллетами;
  - (в) печь, предназначенная для топки дровами;
  - (г) все вышеперечисленные печи.
7. Киловатт — это эквивалент:
- (а) 1 Дж/с;
  - (б) 1000 Дж/с;
  - (в) 1 Дж × с;
  - (г) 0,001 Дж × с.
8. Допустим, что электронагреватель потребляет точно 800 Вт. В предположении, что все электричество преобразуется в полезное тепло, чему эквивалентна указанная величина в Британских тепловых единицах в час (БТЕ/ч)?
- (а) 234 БТЕ/ч;
  - (б) 2730 БТЕ/ч;
  - (в) 800 БТЕ/ч;
  - (г) для ответа требуется дополнительная информация.
9. Снова представьте, что вы построили дом в виде одной комнаты и обогреваете его дровяной печкой. Когда печь топится, стены и мебель становятся теплыми и, в свою очередь, отдают тепловую энергию непосредственно воздуху, который контактирует с ними. Это пример распространения теплого воздуха по комнате посредством какого из следующих процессов?
- (а) излучение и теплопроводность;
  - (б) излучение и поглощение;



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- (в) конвекция и теплопроводность;
- (г) конвекция и поглощение.

10. Предположим, что электронагреватель потребляет примерно 1500 Вт, и все электричество преобразуется в полезное тепло. Сколько тепловой энергии он произведет за 15 мин.?

- (а) примерно 110 БТЕ;
- (б) примерно 1280 БТЕ;
- (в) примерно 5120 БТЕ;
- (г) для ответа требуется дополнительная информация.

# Глава 2

## Отопление жидким топливом и газом

В большинстве обычных центральных систем отопления используется передача тепловой энергии за счет циркуляции воздуха, воды или пара. Наиболее популярными видами топлива для систем центрального отопления являются жидкое и газообразное. Эти вещества в виде смесей большей частью добываются из недр земли, поэтому их называют *ископаемым топливом*. Также существуют методы получения их из биологических исходных материалов. Прежде чем перейти к изучению трех основных типов ископаемого топлива, применяемого в системах отопления домов, рассмотрим самые распространенные способы, с помощью которых тепло распределяется по дому при использовании этих систем.

### Системы воздушного отопления

*Системы воздушного отопления* могут применяться в системах, работающих на любом виде топлива. При этом воздух подогревается печью и циркулирует по дому благодаря системе воздухозаборников, воздухопроводов и вентиляционных отверстий.

#### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

На рисунке 2.1 приведена функциональная схема системы воздушного отопления. В этом примере забор воздуха осуществляется внутри дома. В некоторых системах воздух забирается снаружи дома. А есть и такие, в которых воздухозаборник сдвоенный и воздух забирается как изнутри дома, так и снаружи.

Воздух проходит через *входное отверстие* и затем поступает в печь<sup>1</sup>. За счет теплоты, вырабатываемой топкой, этот воздух подо-

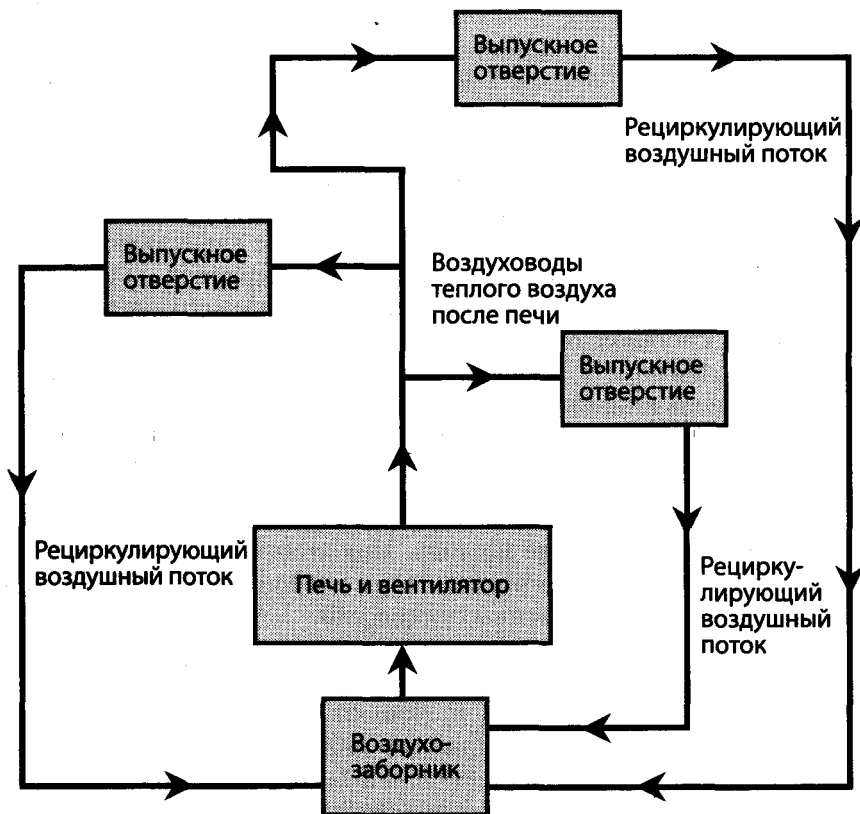
---

<sup>1</sup> Очевидно, в теплообменник, не смешиваясь с отходящими из печи газами. — *Прим. ред.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

гревается. *Тягодутьевое устройство* направляет нагретый воздух в систему *воздуховодов*, по которым он поступает к *выпускным отверстиям* в комнатах. В маленьких комнатах обычно имеется одно отверстие, а в больших — два и более. Выпускные отверстия расположены либо в стене, либо в полу возле стены. Если они не засорены, то теплый воздух эффективно распределяется по комнате за счет конвекции.



**Рис. 2.1.** Функциональная схема центральной системы воздушного отопления при использовании в качестве топлива газа или солярки. В системе предусмотрены воздуховоды и вентиляционные отверстия. Стрелками показано направление распространения воздуха

Воздухозаборник, который расположен внутри дома, возвращает воздух, находящийся в доме, к печи; туда же затягивается часть



наружного воздуха, так как ни один дом не является (и не должен быть) совершенно герметичным. Если воздухозаборник расположен снаружи дома, нагретый воздух уже не подвергается повторной циркуляции; при этом в доме возникает повышенное давление и часть теплого воздуха выходит наружу через щели. По сравнению с внешним воздухозаборником вариант с внутренним воздухозаборником обеспечивает более эффективный обогрев дома, так как используемый в данном случае «домашний» воздух уже предварительно прогрет благодаря неоднократным проходам через печь. Воздухозаборник же, который расположен снаружи дома, обеспечивает более свежий воздух внутри, а также уменьшает риск накопления окиси углерода (СО).

*Отходящие газы* печи, в которых содержатся вредные компоненты, выводятся наружу либо через дымовую трубу, либо через вентиляционный канал в стене дома (на рис. 2.1 не показано). Необходимо особенно внимательно заботиться о том, чтобы выходной вентиляционный канал не был засорен. Зимой нужно почаще проверять, не забился ли он снегом или льдом. Засор в выходном канале может привести к тому, что газ СО накопится в доме даже при условии поступления свежего воздуха через внешний воздухозаборник. В современных печах предусмотрено автоматическое отключение в случае, если вытяжной канал частично или полностью заблокирован.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ

- Уезжая из дома на несколько дней, вы можете установить термостат на низкую температуру (достаточную для того, чтобы вода в трубах не замерзла), а вернувшись, переключить его обратно, и дом снова быстро прогреется.
- Термостат можно установить на низкую температуру ночью, а в дневное время вернуть его на более высокую, и дом снова быстро прогреется.
- Система воздушного отопления может работать вместе с увлажнителем воздуха в местностях с сухим климатом, минимизируя проблемы, связанные с накоплением электростатического заряда («статического электричества»), и поддерживая здоровый климат в доме.
- В районах с влажным климатом система воздушного отопления без увлажнителя будет подсушивать воздух в доме, препятствуя конденсации влаги (особенно в холодную погоду) и росту плесени.





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Система воздушного отопления с воздухозаборником, расположенным внутри дома, снабжается очищающими фильтрами или ионизаторами воздуха, которыми можно воспользоваться, чтобы удалять загрязняющие частицы и аллергены из воздуха.
- Воздуховоды системы воздушного отопления с принудительной тягой могут служить для подачи холодного воздуха в комнаты в теплые месяцы года.
- Вентиляторы системы воздушного отопления с принудительной тягой могут использоваться в сочетании с дровяной печью, печью на кукурузных зернах или на угле, чтобы обеспечить обогрев всего дома, если случился перерыв в работе центрального отопления. Такая альтернативная система, расположенная рядом с вентилятором воздухозаборника, может также помочь основной системе отопления, когда погода чересчур холодная.

### НЕДОСТАТКИ ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ

- Система воздушного отопления с принудительной тягой затягивает внутрь дома пыль, содержащуюся в уличном воздухе. Воздушные фильтры поглощают не всю пыль, а только часть ее. Эта проблема облегчается при использовании системы с воздухозаборником, расположенным не снаружи дома, а внутри. Поможет также установка вентилятора в автоматический режим, так, чтобы он работал, только когда конфорки печи раскаляются докрасна.
- Воздушные фильтры в системе отопления нужно часто менять, иначе система будет работать неэффективно, потому что ей придется тратить больше энергии для обеспечения циркуляции воздуха.
- Если испортится вентилятор, то тепла не будет. Важно иметь контракт на 24-часовое сервисное обслуживание с надежным продавцом, который всегда доступен и будет иметь в запасе запчасти именно для вашей печи. Это, конечно, хорошая идея при любой домашней системе отопления.
- В случае любой неисправности, приводящей к попаданию СО в систему воздуховодов, угарный газ быстро распространится по всему дому.

### Задача 2.1

Почему нельзя сделать дом полностью герметичным? Не будет ли система воздушного отопления с принудительной тягой, заби-



рающая воздух изнутри дома, энергетически эффективной, если дом будет абсолютно герметичным, а значит такое решение окажется удачным?

### Решение 2.1

Действительно, абсолютно воздухонепроницаемый дом будет более энергетически эффективным при прочих равных условиях по сравнению с домом, который имеет множество утечек воздуха. Но в более герметичных домах появляются свои проблемы. Если возникает неисправность печи, вызывающая появление СО в системе воздухопроводов, количество угарного газа может достичь опасного для жизни уровня до того, как вы это почувствуете, даже если дом оснащен датчиками с сигналом тревоги. Опасность особенно велика, если это происходит во время сна. Кроме того, открытое пламя (например, в конфорке газовой плиты) может значительно сократить содержание кислорода в воздухе герметичного дома.

## Бойлеры, радиаторы и отопление под полом

Усовершенствованные варианты старинных систем отопления с использованием горячей воды и пара становятся все более популярными. Это особенно справедливо для новой технологии, известной как *вмонтированная радиаторная система отопления*. Наибольшей популярностью пользуется вариант *вмонтированной в пол радиаторной системы отопления («теплые полы»)*<sup>2</sup>.

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Теоретически любые установки, с помощью которых можно получать кипящую воду или воду на грани кипения, могут обеспечить работу систем отопления с использованием горячей воды или пара (водяное или паровое отопление). Нагреватели на метане, пропане или жидком топливе идеальны для этой цели. В некоторых старых домах угольные печи, нагревавшие бойлеры, заменены на печи на солярке. Альтернативное топливо, такое как дрова или кукурузное зерно, тоже может использоваться для подогрева водонагревателей или бойлеров.

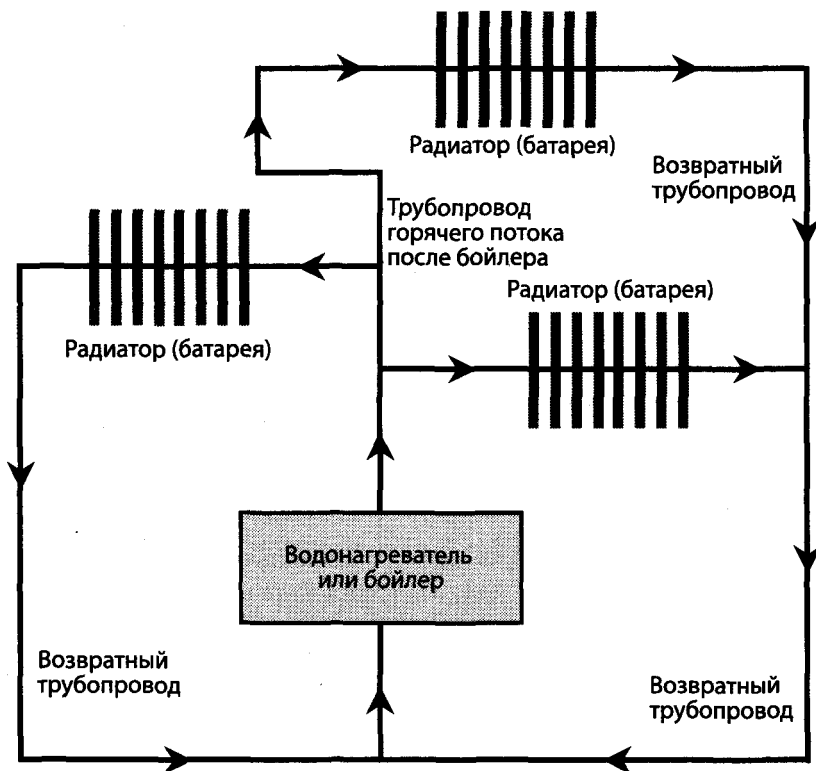
---

<sup>2</sup> Древнейшие «прототипы» таких систем известны на Дальнем Востоке (в частности, в Корее — *ондоль* — и на территории современного Китая) с доисторических времен. — *Прим. пер.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

На рисунке 2.2 приведена функциональная схема системы, в которой горячая вода или пар циркулирует в трубах по всему дому. В комнатах горячая вода или пар проходит через комплекс металлических конструкций, имеющих минимальный внутренний объем и максимальную внешнюю поверхность. Это оптимизирует передачу тепловой энергии от воды или пара в окружающее пространство. Металлические конструкции могут непосредственно обогревать воздух, их называют *радиаторами (батареями)*, а могут быть вмонтированы в стены или пол, при этом они обычно имеют вид спирали.



**Рис. 2.2.** Функциональная схема системы водяного и парового отопления. В системе имеются трубы и радиаторы (батареи). Стрелками показано направление распространения воды или пара

В системе парового отопления, после того как тепловая энергия передается воздуху посредством радиаторов, пар конденсируется



и возвращается к бойлеру в виде горячей воды. Бойлер доводит воду до кипения, и она в виде пара вновь отправляется по трубам в путешествие по дому. В системе водяного отопления, как это очевидно, вода возвращается к водонагревателю при более низкой температуре, чем та, при которой она начала свой путь, а после восстановления температуры в водонагревателе вода готова к новому путешествию.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ВОДЯНОГО И ПАРОВОГО ОТОПЛЕНИЯ

- Установки водяного отопления представляют собой *замкнутые системы*. Теоретически совершенные системы такого типа не должны потреблять никакой воды после первоначальной заправки. На практике к этому идеалу стремятся, но не достигают его.
- В связи с отсутствием вентилятора в таких системах не создается ни повышенное, ни пониженное давление в доме. Это минимизирует количество энергии, которое тратится на «обогрев улицы» в случаях, когда из-за разницы давлений внутри и снаружи дома теплый воздух уходит из дома и/или холодный воздух затягивается в дом.
- Системы водяного и парового отопления не затягивают пыль внутрь и не разносят ее по дому.
- Ядовитый угарный газ СО будет постепенно распространяться по дому при нарушении правильной работы нагревателя, выделяющего этот газ. Поэтому датчик СО должен быть установлен возле нагревателя и выдаст сигнал тревоги, как только возникнет эта проблема.
- Радиаторные спиральные обогреватели, вмонтированные в пол или стены, не занимают пространство комнаты и полностью невидимы.
- *Пристенные радиаторы* с горячей водой не занимают много места, но горючие материалы нужно держать от них подальше. Для эффективной передачи тепла в комнату радиаторы нужно содержать в чистоте.
- Если радиатор установлен под полом, то даже самым холодным зимним утром пол из дерева или ламината будет теплым.

### НЕДОСТАТКИ ВОДЯНОГО И ПАРОВОГО ОТОПЛЕНИЯ

- Прогревание холодного дома с помощью встроенных радиаторов — процесс долгий.
- Возможна утечка горячей воды из-за того, что радиаторы или трубы могут потрескаться, лопнуть или проржаветь. В резуль-



тате домашние вещи и элементы конструкции дома могут быть залиты водой и повреждены.

- Паровые радиаторы тоже могут дать утечку, если потрескаются, лопнут или проржавеют трубы. Это может привести к порче вещей и вызвать серьезные ожоги у людей.
- Старые паровые радиаторные системы могут издавать шипение или металлическое позвякивание при расширении и сжатии вследствие нагревания и охлаждения. Правда, в хорошо сконструированных, тщательно отлаженных современных системах водяного отопления это происходит редко.
- Любой тип радиатора нагревается и может обжечь человека, который его коснется.
- В системах водяного отопления в воде не должны содержаться минералы, чтобы не происходило их осаждение в трубах, водонагревателе и/или бойлере. Это требует смягчения воды, а в идеале — использования дистиллированной воды.

### Задача 2.2

Можно ли использовать систему с подогревом пола, если пол с ковровым покрытием?

### Решение 2.2

Да, при условии, что ковровое покрытие укладывается на подстилку, которая не является слишком термоизолирующей. Обычно необходима консультация профессионального специалиста по укладке ковровых покрытий.

## Система отопления на жидком топливе (солярке)

Во многих домах, особенно на северо-западе Америки, используется отопление соляркой. Система отопления на солярке в последние годы возрождается. Инженеры разработали высокоэффективную, чисто горящую систему отопления на солярке, которая успешно конкурирует с системами на других видах топлива.

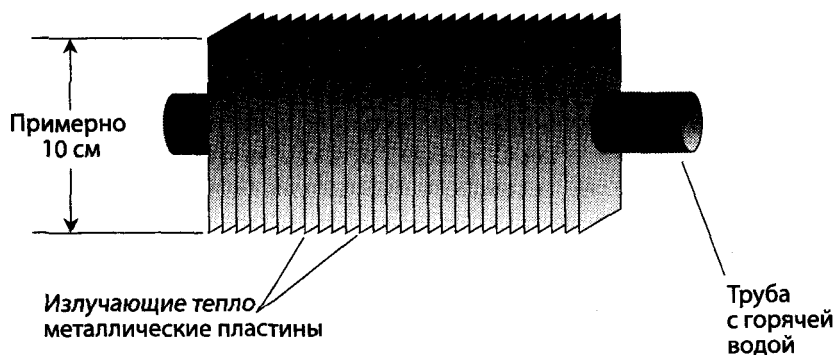
### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Система центрального отопления на солярке состоит из нескольких компонентов. *Топливный бак* устанавливается владельцем дома. Этот бак размещается либо на земле, либо под землей в зависимости от местности, законодательства, соглашений в данном жилом районе и предпочтений владельца дома. *Трубопровод* ведет из бака к печи. Бак периодически наполняется обслуживающим персоналом.



В печи солярка *распыляется*, так же как бензин распыляется в карбюраторе автомобильного двигателя. Процесс представляет собой разбиение солярки на мелкие частицы, которые смешиваются с воздухом. Смесь солярки с воздухом поджигается *электрическим запальником*. При сжигании смеси в *камере сгорания* выделяется теплота. Эта теплота может быть использована в системе воздушного отопления, в водонагревателе с радиаторной системой или в паровом бойлере с радиаторной системой.

В старых домах паровые радиаторные системы часто применяются с печами на солярке. В новых домах печи на солярке популярны для систем отопления под полом и водонагревателей. В некоторых случаях используются радиаторы с горячей водой, установленные у плинтуса, которые состоят из трубы со стальными пластинами, расположенными перпендикулярно трубе, для того чтобы максимально увеличить площадь поверхности и минимизировать объем (рис. 2.3). Такие радиаторы расположены вдоль стены вблизи пола. Их закрывают металлическими крышками, для того чтобы защитить от оседания пыли и предотвратить повреждение пластин в случае удара. Кроме того, крышки уменьшают риск ожога людей, которые случайно дотронутся до радиатора.



**Рис. 2.3.** Упрощенная схема секции радиатора с горячей водой, расположенного у плинтуса. Элементы обычно закрывают решетчатыми панелями для защиты от механических повреждений, а также для защиты людей и предметов, расположенных рядом

Основные продукты сгорания солярки, как и любого традиционного вида топлива, — это водяной пар ( $H_2O$ ) и двуокись углерода ( $CO_2$ ). Кроме того, выделяются незначительные количества двуокси-



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

си серы ( $\text{SO}_2$ ), CO и твердые частицы. Все эти загрязняющие вещества отправляются наружу как отходящие газы. Это можно сделать через обычную дымовую трубу на крыше дома или, в случае высокоэффективной системы отопления на солярке, через пластиковую *вытяжку*, выходящую через внешнюю стену дома.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ОТОПЛЕНИЯ СОЛЯРКОЙ

- В системах на солярке нет трубопровода к центральному поставщику. Топливный банк может быть установлен в частном владении. Это может оказаться весьма важным для людей, которые хотят жить в сельских или отдаленных от города местностях.
- Солярка — это относительно безопасное топливо. Утечка солярки может привести к появлению грязи, но не создаст опасность взрыва. Солярка менее взрывоопасна, чем любой горючий газ, бензин, керосин или спирт.
- В случае нарушений в работе системы отопления на солярке практически всегда появляется дым. Это привлекает внимание и стимулирует к принятию неотложных мер по предотвращению возможных проблем.
- Солярка — это топливо с высокой плотностью. Имеется в виду, что малый объем и масса солярки имеют большую *потенциальную энергию*. Небольшой по размерам бак солярки может на несколько недель обеспечить дом теплом.
- Благодаря высокой плотности солярки использующие ее системы отопления мобильны. Небольшие печи на солярке удобны для применения в передвижных домах для отдыха, охотничьих домиках и других маленьких временных сооружениях.
- Солярку можно смешивать с *биотопливом*, таким как остатки растительного масла, используемого при приготовлении пищи, или отходы животных жиров. Системы на солярке могут быть сконструированы так, что они будут работать на таком смешанном топливе.

### НЕДОСТАТКИ ОТОПЛЕНИЯ СОЛЯРКОЙ

- В холодное время года нужно постоянно следить за тем, чтобы домашний бак для хранения солярки был полон. Необходимо предусмотреть резервную систему отопления на тот случай, если он опустеет, а со снабжением возникнут проблемы.
- Стоимость солярки напрямую зависит от стоимости сырой нефти. Цены на нефть могут внезапно подскочить. Вы можете



услышать разные прогнозы на динамику изменения цен в ближайшем будущем, но в долговременной перспективе рост цен не должен быть для вас неожиданным.

- Много нефти поступает из стран с политически нестабильными режимами. В результате всегда есть риск внезапного сокращения поставок.
- Временные сокращения поставок нефти (по крайней мере в Америке) могут быть вызваны мощными ураганами в Мексиканском заливе.
- Мировые запасы нефти конечны и невозобновляемы (биотопливо, о котором рассказывалось ранее, возобновляемо).
- Некоторые узлы современных печей на солярке требуют электричества. Для бесперебойной работы таких печей при падении напряжения в сети необходим резервный генератор, который можно включить в любой момент времени. Он должен обеспечивать качественное синусоидальное напряжение (чтобы хорошо работали электронные системы) и иметь достаточную мощность для обеспечения работы всех узлов печи. При установке резервного генератора для использования с любой нагревательной системой необходима консультация профессионала.

### Задача 2.3

Не может ли масло замерзнуть или стать густым в холодную погоду, что будет препятствовать свободному течению его из бака в печь?

### Решение 2.3

Солярка не замерзает при температурах, встречающихся в любом обитаемом регионе Земли. Солярка может стать густой, если она охладится, так же как становится густым машинное масло, но это случается редко. Здесь поможет подземное размещение бака для солярки, так как под землей температура сильно не меняется.

## Система отопления с использованием метана (природного газа)

В XX веке в Америке *метан* ( $\text{CH}_4$ ), который часто называют также *природным газом* или просто *газом*, стал наиболее популярным топливом для систем центрального отопления. (На самом деле метан — это только одна из составляющих реального природного





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

газа.) Для этого были объективные технические и экономические причины. Природный газ имеется в достаточных количествах под землей, при этом он легко добывается. Правда, в начале XXI века стали возникать периодические перебои. Тем не менее метан остается распространенным видом топлива, особенно в городских условиях, где уже создана сеть газовых трубопроводов.

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Геометрические конфигурации газовых печей сильно различаются, но базовые принципы их работы похожи. Далее приводится упрощенное описание работы обычной газовой печи с принудительной воздушной тягой.

*Термостат* определяет время включения печи. Ее запускает простой выключатель, который находится в жилой зоне дома. *Вентиллятор* создает тягу, которая позволяет подать необходимое количество воздуха для горения топлива, а также отвести продукты сгорания наружу через дымовую трубу. В высокоэффективных печах эти газы проходят через теплообменники, от которых отбирается теплота, и уже затем охлажденный отработанный газ выходит через пластиковую трубу.

Вентиллятор подачи воздуха на горение начинает работать после того, как термостат определяет необходимость повышения температуры в доме. *Центробежный регулятор* фиксирует, что вентиллятор работает, затем после небольшой задержки открывается *газовый вентиль*, и *электрический запальник*, называемый также *запальная свеча*, поджигает топливо. В старых системах вместо электрического запальника используются *дежурный факел* и выключатель на основе *термопары*, чувствительной к температуре, который препятствует открыванию газового вентиля, пока не зажжется контрольный факел. *Запальники* обеспечивают процесс горения для нагрева топки или теплообменника.

Вентиллятор системы воздушного отопления помогает циркуляции подогретого воздуха от топки или теплообменника по всему дому. Она начинается с задержкой на 1–3 минуты после воспламенения топлива. Когда температура в доме достигает определенного уровня, газовый вентиль закрывается и горение прекращается. Тогда и вентиллятор подачи воздуха на горение перестает работать. После задержки на 1–3 минуты вентилляторы системы воздушного отопления тоже отключаются, если система установлена в *автоматический режим*. В большинстве газовых систем отопления с принудительной



воздушной тягой оператор имеет возможность оставить вентилятор системы постоянно включенным. Это позволяет минимизировать тепловое расслоение воздуха, когда холодный воздух может накопиться в нескольких комнатах или вблизи от пола во всех помещениях. Если печь на дровах, угле или на кукурузном зерне установлена около воздухозаборника газовой печи и если вентилятор системы работает непрерывно, то печь на дровах, угле или на кукурузном зерне может использоваться как альтернативный вариант для отопления дома или в качестве дополнения к газовой печи.

Некоторые газовые печи используются с водонагревателями или бойлерами. В таких системах часто много термостатов для регулирования температуры в отдельных комнатах или в частях дома. Термостаты открывают вентили, которые управляют потоком воды к радиаторам и спиральным обогревателям.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ОТОПЛЕНИЯ МЕТАНОМ

- Системы отопления с использованием метана эффективны. Современные печи, оснащенные теплообменниками утилизации теплоты отходящих газов, могут преобразовывать почти всю потенциальную энергию метана в полезное тепло.
- Высокоэффективные газовые печи могут иметь вентиляционный выход наружу непосредственно в стене дома. Это исключает необходимость в дымовой трубе на крыше. Когда высокоэффективная газовая печь установлена на месте, где находилась система отопления соляной или газовая печь старой модели, ставшая ненужной дымовая труба может быть использована для дополнительного источника отопления, такого как печь на дровах, угле или кукурузном зерне (конечно, если эта труба не применяется для какой-либо другой отопительной системы или оборудования).
- Природный газ легкодоступен в большинстве городов. Его непрерывная подача осуществляется через сеть подземных коммуникаций. Нет необходимости заботиться о состоянии домашнего топливного бака.
- Газовые печи (также как газовые плиты, газовые камины и газовые водонагреватели) горят чисто. Они загрязняют воздух в относительно небольшой степени и, по существу, не дымят.
- Газовые печи с принудительной подачей воздуха имеют различные конструкции: *с восходящим, нисходящим и горизонтальным (боковым) потоком*. Это позволяет устанавливать их на



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

фундаментах стационарных домов, в модульных и мобильных домах, на чердаках и в туннелях соответственно.

### НЕДОСТАТКИ ОТОПЛЕНИЯ МЕТАНОМ

- Утечка метана может вызвать пожар или взрыв. (Это справедливо для любого топлива, горящего в газообразном состоянии, в том числе для водорода.) Обычно метану искусственно придают специфический запах, который легко распознать. Это обеспечивает бдительность людей к возможной утечке газа. Если вы почувствовали запах газа в своем доме, *немедленно покиньте его* и позвоните пожарным.
- В последние годы нестабильность цен на природный газ и проблемы, возникавшие с его поставкой, повредили его репутации наиболее надежного топлива для обогрева домов.
- В сельских местностях и в слаборазвитых странах газовые сети отсутствуют.
- Вы можете хранить метан в своем доме при определенных условиях: если вы являетесь владельцем большой фермы и местные законы и правила не запрещают хранить газовые баллоны в частном владении.
- Мировые запасы природного метана конечны, и они невозобновляемы. (Однако метан может быть получен при некоторых биологических процессах, и этот источник возобновляем.)
- Некоторые компоненты современной системы отопления на метане нуждаются в электричестве. Они не будут работать, если напряжение в сети пропадет и если у вас нет резервного генератора на этот случай (см. выше — последний недостаток системы отопления соляркой).

### Задача 2.4

Могут ли вместо метана использоваться другие газы в системах отопления, предназначенных для сжигания метана, в частности водород?

### Решение 2.4

Водород имеет определенные перспективы для возможного использования вместо метана в городских трубопроводных сетях. Но водород, будучи самым легким химическим элементом, обладает большей склонностью к утечкам, чем метан. Кроме того, он горит с большим выделением теплоты. Это требует изменений в трубопрово-



дах и в конструкции печей. Как еще будет сказано ниже, хотя водород и является самым распространенным элементом во Вселенной, он не встречается в свободном состоянии на Земле в тех количествах, которые позволяют легко использовать его в качестве топлива. Существуют многочисленные методы для того, чтобы получать водород, выделяя его из химических соединений, в которых он содержится, но в период написания этой книги все подобные технологии пока еще дороги и неэффективны.

### Системы отопления на пропане

*Пропан* — это *сжиженный* газ, сопутствующий нефтедобыче. В Америке он состоит в основном из углеводорода пропана ( $C_3H_8$ ), отсюда и название. В некоторых странах используется смесь пропана и *бутана* ( $C_4H_{10}$ ). Пропан в газообразном состоянии тяжелее метана, а бутан тяжелее пропана.

#### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Пропан может быть получен как побочный продукт в процессе извлечения метана из природного газа или как побочный продукт в процессе очистки сырой нефти. Пропан можно хранить под давлением в жидкой фазе. Когда жидкость попадает в атмосферу из баллона, находящегося под давлением, она становится горючим газом, подобным метану. Пропан в газообразном состоянии бесцветен и не имеет запаха, так же как бутан и метан. Смесь, называемая *меркптан этила*, которая пахнет протухшими яйцами, добавляется к пропану для того, чтобы его утечка легко обнаруживалась.

То, что пропан можно хранить в баллонах, дает возможность считать его портативным топливом. По этой причине он является популярным альтернативным топливом для домашних резервных генераторов, для генераторов в передвижных домах и для портативных кухонных плит. Он может использоваться как альтернатива солярке и метану для систем центрального отопления домов. Пропан может также использоваться как топливо для автомобилей. Когда пропан выпускается из баллона и с понижением давления превращается в газ, он горит так же, как метан.

#### ПРЕИМУЩЕСТВА ОТОПЛЕНИЯ ПРОПАНОМ

- Пропан используется достаточно широко, так как его можно хранить в баллонах. Когда вы видите серебристый баллон, похожий на толстую сосиску, во дворе сельского дома или фер-



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

мы, вы можете вполне резонно считать, что это баллон с пропаном.

- Пропан не растворяется в воде, по этой причине опасность загрязнения им подземных вод или почвы незначительна.
- Системы отопления на пропане обеспечивают меньший уровень загрязнений, чем системы на горящем дереве и угле, и сравнимы в этом отношении с системами на солярке и метане.
- Использование пропана как альтернативного топлива позволит обеспечить более экономный способ отопления для тех людей, для которых метан и солярка слишком дороги.
- С системой на пропане вы можете обеспечить все энергетические потребности дома и обойтись без центральной энергетической сети. Пропан может обеспечить энергию для печи, электроэнергию (с помощью генератора на пропане), энергию для водонагревателя, для кухонной плиты и духовки, электроэнергию для холодильника и даже для стиральной машины и сушилки.
- Пропан не такой горючий, как метан, так что опасность взрыва при использовании пропана меньше. Однако те же предосторожности, как и в системах, сжигающих метан, необходимы и в системах, сжигающих пропан.

### НЕДОСТАТКИ ОТОПЛЕНИЯ ПРОПАНОМ

- Пропан может оказаться не самым дешевым из всех видов топлива, возможных в данной местности. Когда мы анализируем цену, необходимо принять во внимание все расходы, в том числе стоимость переделки печи или установки новой печи (если понадобится), а также стоимость обслуживания, риск перерыва в поставках топлива, поведение страховой компании домовладельца (отражающееся в тарифах) по отношению к использованию того или иного топлива в данной местности.
- Пропан, пока он хранится в жидком состоянии, имеет не самую высокую потенциальную тепловую энергию на единицу объема по сравнению с другими видами обычного топлива. Это является достоинством солярки. В результате баллон с пропаном должен быть больше по объему, чем бак с соляркой, чтобы обеспечить то же количество энергии.
- Если температура баллона упадет до очень низких значений (примерно до  $-34^{\circ}\text{C}$  или  $-29^{\circ}\text{F}$ ), пропан, выпущенный из бал-



лона, может не перейти в газообразное состояние. Это приведет к тому, что нагревательный аппарат не заработает.

- Не все могут почувствовать запах меркаптана этила в смеси газов.
- Если баллоны уже опустели или окисление (ржавчина) появилось в баллоне или трубопроводе, запах может перестать ощущаться. Это означает, что не стоит надеяться только на свою чувствительность к запахам, иначе вы можете не обнаружить утечку пропана. По этой причине рекомендуется использовать *датчики пропана* при установке любой системы на пропане.
- Некоторые компоненты в современных системах отопления на пропане требуют электричества. Они не смогут работать, если пропадает напряжение в сети и если нет резервного генератора (см. выше — последний недостаток для системы с отоплением на солярке).

### Задача 2.5

Все виды топлива, описанные в этой главе, предполагают наличие «горящего вещества» в доме. Когда же мы собираемся избавиться от этого? Горение любого горючего вещества, кроме водорода, загрязняет воздух. Некоторые из этих видов топлива получают путем бурения скважин. Почему мы не можем освободить себя от этого древнего занятия и начать думать о долгосрочной перспективе?

### Решение 2.5

Для того чтобы быть объективной и полной, эта книга описывает существующие, а также развивающиеся и перспективные методы получения энергии для нужд человечества. Большинство ученых, экономистов и даже промышленных руководителей соглашаются, что старые способы должны быть и будут заменены. Но подумаем и о другом: «архаичные» технологии получения энергии останутся наиболее практичной альтернативой для многих жителей Земли еще на долгие времена.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отвечая на эти вопросы, вы можете пользоваться текстом книги. Восемь правильных ответов — хороший результат. Ответы помещены в конце книги.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

1. Что из перечисленного ниже необходимо сделать для запуска вентилятора печи воздушного отопления на пропане при помощи резервного генератора (в случае падения напряжения в сети)?
  - (а) в качестве топлива для печи вместо пропана нужно использовать метан;
  - (б) в качестве топлива для печи вместо пропана нужно использовать бутан;
  - (в) резервный генератор должен обеспечивать мощность для вентилятора, для любой из имеющихся электронных систем и для электрического запальника (если он имеется), причем для всех систем одновременно;
  - (г) печь на пропане с принудительной воздушной тягой нельзя запускать с помощью резервного генератора.
2. Какой из нижеследующих видов топлива наименее взрывоопасен?
  - (а) солярка;
  - (б) газ пропан;
  - (в) газ метан;
  - (г) газ водород.
3. Что из нижеследующего является преимуществом системы воздушного отопления?
  - (а) вентилятор может использоваться с дровяной печью, чтобы распределить ее тепло по всему дому;
  - (б) холодный дом может быть быстро прогрет;
  - (в) воздуховоды могут использоваться для кондиционирования воздуха летом;
  - (г) все вышеперечисленное.
4. Как может быть повышена или оптимизирована эффективность печи на метане?
  - (а) отходящий газ может быть пропущен через теплообменник утилизации теплоты;
  - (б) вместо использования метана в топке может сжигаться распыленная солярка;
  - (в) вместо использования метана в топке может сжигаться распыленный бензин;
  - (г) домашний бак для метана может быть установлен под землей.



5. Одним из важнейших преимуществ современной системы водяного отопления, в которой используются радиаторы, размещенные под полом, является то, что:
  - (а) она может быстро нагреть холодный дом;
  - (б) она не выделяет газ  $\text{CO}$ ;
  - (в) вы можете встать на теплый пол в зимнее утро;
  - (г) единственным побочным отработанным продуктом является вода.
6. Трубопровод к центральной сети обычно необходим для:
  - (а) системы отопления на пропане;
  - (б) системы отопления на метане;
  - (в) системы отопления на солярке;
  - (г) всех вышеперечисленных систем отопления.
7. Какое электронное устройство в старых газовых печах с дежурным факелом реагирует на тепло от направленного пламени, чтобы газовый вентиль не мог открыться, если дежурный факел не работает?
  - (а) теплообменник;
  - (б) запал;
  - (в) термопара;
  - (г) никакое. Лучше почаще проверяйте дежурный факел!
8. Внешний (наружный) воздухозаборник системы воздушного отопления:
  - (а) обеспечивает преимущество постоянного притока в дом свежего воздуха, пока работает вентилятор;
  - (б) создает постоянную циркуляцию воздуха внутри дома, таким образом уменьшая эффективность системы и создавая риск появления  $\text{CO}$ ;
  - (в) является идеальным решением, потому что делает невозможным накопление  $\text{CO}$  и другие неприятности, которые могли бы произойти в этой системе;
  - (г) никогда не должен использоваться, потому что нарушает смысл системы отопления, затягивая холодный воздух в дом.
9. Водород может использоваться вместо метана в системах для отопления газом при условии, что:
  - (а) процесс превращения гелия в водород может быть совершенным;





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- (б) водород может быть получен в большом количестве при разумной стоимости;
  - (в) может быть найден способ сжигания водорода без образования  $\text{CO}$ ;
  - (г) произойдет все вышеперечисленное.
10. Какой из нижеперечисленных методов распределения теплоты, если такой есть, несовместим с технологией отопления соляркой?
- (а) отопление с подогревом пола радиаторами;
  - (б) радиаторы с горячей водой;
  - (в) воздушное отопление;
  - (г) все вышеупомянутые методы совместимы с технологией отопления соляркой.

# Глава 3

## Отопление и охлаждение с помощью электричества

Электричество можно использовать для отопления и охлаждения помещений как непосредственно, так и опосредованно. Прежде чем приступить к изучению принципов работы электрических систем отопления и охлаждения, давайте рассмотрим понятия, которыми пользуются ученые, определяя, что такое холод и тепло.

### Температура

*Температура* — это количественное выражение *кинетической энергии* (или тепловой энергии), содержащейся в веществе. Когда энергия может свободно распространяться от одного вещества к другому в виде теплоты, температура обоих веществ стремится уравниваться. Этот процесс известен как *тепловая энтропия*. Действие электрических систем отопления и охлаждения в локализованном пространстве направлено против этого естественного процесса.

#### ТЕМПЕРАТУРНАЯ ШКАЛА ЦЕЛЬСΙΑ

Если у вас есть кусок льда и вы помещаете его туда, где температура превышает точку замерзания, лед начинает таять, так как он поглощает тепло из окружающей среды. Лед и растопившаяся из него вода имеют температуру  $0^{\circ}\text{C}$ . По мере дальнейшего подведения энергии к куску льда все большая и большая часть его тает. Если энергия продолжает поступать, в какой-то момент весь лед превратится в воду, и ее температура станет увеличиваться. В конце концов будет достигнута точка, когда вода начнет кипеть и часть ее перейдет в газообразное состояние. Температура воды и водяного пара, в который она превращается, равна  $100^{\circ}\text{C}$ . По мере подведения энергии к воде она все больше испаряется. Если энергия продолжает поступать в воду, в какой-то момент вода вся превратится в пар, и его температура вновь начнет увеличиваться. Единственным пределом того,



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

насколько горячим будет пар, в конечном счете является то, сколько энергии передадут ему нагревательные элементы.

Существуют две критические точки для воды — это *точка заморзания* и *точка кипения*, которые соответствуют двум фиксированным значениям температур. Эти два значения температур выбраны в качестве реперных точек в *температурной шкале Цельсия*, названной так по фамилии ученого, который, как считается, первым предложил этот принцип. Один градус цельсия ( $1^{\circ}\text{C}$ ) равен  $\frac{1}{100}$  разницы между температурой таяния и температурой кипения чистой воды на уровне моря.

### ТЕМПЕРАТУРНАЯ ШКАЛА КЕЛЬВИНА

Можно заморозить воду и продолжить охлаждение или нагреть воду до парообразного состояния и продолжить нагрев. То есть температуры могут опускаться много ниже  $0^{\circ}\text{C}$  и подниматься много выше  $100^{\circ}\text{C}$ . Существует абсолютный нижний предел температуры по шкале Цельсия, но верхнего предела температуры нет. Мы могли бы предпринять экстраординарные усилия, охлаждая кусок льда, чтобы увидеть, насколько холодным мы можем его сделать, но нам никогда не удастся понизить его температуру ниже  $-273,15^{\circ}\text{C}$ . Эта температура называется *абсолютным температурным нулем*. Предметы с такой температурой не смогут передать энергию чему-то еще, потому что у них вообще не будет энергии, которую можно было бы передать. Во Вселенной нет объектов, имеющих такую температуру, хотя некоторые атомы в необозримом межгалактическом пространстве могут иметь температуру, приближающуюся к ней.

Абсолютный нуль — это реперная точка *температурной шкалы Кельвина*. Единицы в этой шкале называются *кельвинами* (K). Температура  $-273,15^{\circ}\text{C}$  равна 0 K. Приращение температуры в температурной шкале Кельвина такое же, как в температурной шкале Цельсия. Поэтому  $0^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K}$ , а  $+100^{\circ}\text{C} = 373,15\text{ K}$ .

Верхнего предела шкалы нет, т. е. можно нагревать вещества бесконечно. Температуры в ядрах звезд могут достигать миллионов градусов Кельвина. В центре Галактики температуры квазаров и других экстремальных космических объектов достигают, возможно, миллиардов градусов Кельвина.

### ТЕМПЕРАТУРНАЯ ШКАЛА ФАРЕНГЕЙТА

В большинстве англоязычных стран, особенно в Америке, в быту используют *температурную шкалу Фаренгейта* ( $^{\circ}\text{F}$ ). Прираще-



ние температуры по шкале Фаренгейта равно точно  $\frac{5}{9}$  приращения температуры по шкале Цельсия. Точка плавления льда из чистой воды на уровне моря принята равной  $+32^\circ\text{F}$ , а точка кипения чистой воды — равной  $+212^\circ\text{F}$ . Таким образом,  $+32^\circ\text{F}$  соответствует  $0^\circ\text{C}$ , а  $+212^\circ\text{F}$  соответствует  $+100^\circ\text{C}$ . Температура абсолютного нуля примерно равняется  $-459,67^\circ\text{F}$ .

Пусть  $F$  — температура в  $^\circ\text{F}$ , а  $C$  — температура в  $^\circ\text{C}$ . Для того чтобы преобразовать температуру в градусах Фаренгейта в температуру в градусах Цельсия, воспользуемся формулой:

$$C = (5/9)(F - 32).$$

Для того чтобы преобразовать температуру в градусах Цельсия в температуру в градусах Фаренгейта, воспользуемся формулой:

$$F = 1,8C + 32.$$

### Задача 3.1

Какой величине в градусах Цельсия соответствует температура  $72^\circ\text{F}$ ? Округлите ответ до ближайшего целого числа.

### Решение 3.1

Для того чтобы решить эту задачу, воспользуемся формулой, приведенной выше, для преобразования температур по шкале Фаренгейта в температуры по шкале Цельсия:

$$C = (5/9)(F - 32).$$

Поэтому для данного случая

$$C = (5/9)(72 - 32) = (5/9) \times 40 = 22^\circ\text{C}.$$

### Задача 3.2

Какой величине соответствует в градусах Кельвина температура  $80^\circ\text{F}$ ? Округлите ответ до ближайшего целого числа.

### Решение 3.2

Сначала преобразуем температуру в градусах Фаренгейта в температуру в градусах Цельсия:

$$C = (5/9)(80 - 32) = (5/9) \times 48 = 26,67^\circ\text{C}.$$

Давайте пока не будем округлять ответ, так как нам предстоит выполнить другие вычисления. Вспомним, что разница между зна-



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

чениями температур по шкале Цельсия и по шкале Кельвина всегда равна 273,15. Поэтому в ответе количество цифр (в целой части) должно быть больше двух. То есть мы должны добавить 273,15 к нашим значениям по шкале Цельсия. Если К представляет собой температуру в кельвинах, тогда

$$K = C + 273,15 = 26,67 + 273,15 = 299,82 \text{ К.}$$

Мы можем округлить результат до 300 К.

### СТАНДАРТНЫЕ ТЕМПЕРАТУРА И ДАВЛЕНИЕ (СТАНДАРТНЫЕ УСЛОВИЯ)

Для сравнения между собой замеров и экспериментов, проведенных при разных температурах и давлениях, ученые вводят понятие *стандартных температуры и давления (стандартные условия)*. Стандартная температура равна 0 °C (32 °F), т. е. температуре точки замерзания или точки плавления чистой воды. Стандартное давление — это среднее атмосферное давление на уровне моря, эквивалентное давлению ртутного столба высотой 0,76 м (немного меньше 30 дюймов). Это соответствует 14,7 фунта на квадратный дюйм, или примерно  $1,01 \times 10^5$  ньютона на квадратный метр (Н/м²).

Мы не задумываемся о том, что воздух имеет существенную массу, но это потому, что мы в него «погружены». Плотность сухого воздуха при стандартных температуре и давлении примерно равна 1,29 кг/м³.

Куб воздуха с размерами 4 × 4 × 4 м (как большая спальня с высоким потолком) имеет массу 82,6 кг. В гравитационном поле Земли это соответствует весу взрослого мужчины.

## Система обогрева на резистивных элементах

Самый непосредственный способ получить теплоту из электричества — это приложить *напряжение* к резистивному элементу, т. е. элементу, обладающему электрическим сопротивлением, и заставить *ток* течь через него. Если это сделать, то теплота будет генерироваться в виде *инфракрасного (ИК)* излучения. В некоторых случаях генерируется также видимое и/или *ультрафиолетовое (УФ)* излучение. *Обогреватели на резистивных элементах* иногда используются в местностях, где зима не очень холодная. Они не слишком хороши как единственный источник тепла для тех районов, где зимы суровые, хотя и могут служить в качестве дополнения к основной системе отопления. В некоторых летних домиках используются обогреватели на резистивных элементах для того, чтобы подогреть воздух весной, осенью или в ночное время.



## ТЕПЛОТА, НАПРЯЖЕНИЕ И СОПРОТИВЛЕНИЕ

На рисунке 3.1 представлена функциональная схема обогревателя на резистивном элементе. Способ, используемый в этом обогревателе, иногда называют «омическим нагревом». *Нагревательный элемент* — это сердце обогревателя; обычно он состоит из большой спирали или набора спиралей, сделанных из провода с большим электрическим сопротивлением. Этот провод может выдерживать высокие температуры, не расплавляясь и не разрушаясь.

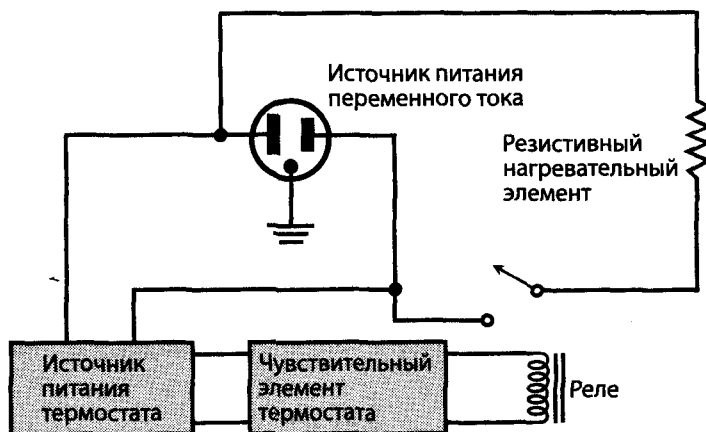


Рис. 3.1. Функциональная схема обогревателя для одной комнаты на резистивном элементе с регулированием термостатом

Источник питания переменного тока обеспечивает электрическую энергию. Количество тепла, которое выделяется резистивным элементом, зависит от приложенного к нему напряжения, а также от величины его сопротивления. Для определения величины напряжения в домашних сетях переменного тока используются термины *эффективное значение напряжения* или *среднеквадратичное значение напряжения*. Это такое значение переменного напряжения, которое, будучи приложенным к резистивному элементу, вызывает выделение такого же количества теплоты, какое вызвало бы *постоянное напряжение* того же численного значения. Если  $E$  — это среднеквадратичное значение переменного напряжения источника питания в *вольтах* (В), а  $R$  — это сопротивление нагревательного элемента в *омах* (Ом), тогда мощность  $P_{Вт}$ , выделенная элементом, в *ваттах* (Вт) выражается формулой:



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

$$P_{\text{Вт}} = E^2/R.$$

Стандартное среднеквадратичное значение напряжения в Америке составляет либо 117 В, либо 234 В плюс-минус несколько процентов<sup>1</sup>.

### ТЕПЛО, ТОК И СОПРОТИВЛЕНИЕ

Количество тепловой мощности, производимой резистивным элементом, также может быть определено, если известен ток  $I$ , который элемент получает от источника питания в *амперах* (А), а также известно его сопротивление в омах (Ом). В этом случае

$$P_{\text{Вт}} = I^2 R.$$

Эта формула (в предположении, что приложено только одно напряжение) справедлива в том и только том случае, если вся мощность, приложенная к резистивному элементу, преобразуется в тепло. В обычных нагревателях это всегда именно так, даже если сам элемент накаляется докрасна.

Предыдущие формулы можно преобразовать для выражения тепловой мощности в Британских тепловых единицах в час (БТЕ/ч). В обоих случаях надо умножить мощность в ваттах на 3,41, тогда  $P_{\text{БТЕ/ч}}$  равно:

$$P_{\text{БТЕ/ч}} = 3,41 E^2 / R,$$

$$P_{\text{БТЕ/ч}} = 3,41 I^2 R.$$

Схема на рис. 3.1 включает *термостат* и его источник питания, а также электромеханическое *реле*. Термостат имеет *биметаллическую пластинку*, которая изгибается, когда температура растет или падает, что приводит к размыканию или замыканию контактов, которые пропускают ток к реле. Если температура падает ниже некоторой точки, то в катушку реле начинает поступать ток, контакты реле замыкаются и тем самым замыкают основную электрическую цепь, в результате ток течет через нагревательный элемент. Когда температура возрастает выше некоторой точки, биметаллическая пластинка изгибается в обратную сторону, контакты размыкаются, ток в катушку реле перестает поступать, контакты реле также размыкаются и тем самым размыкают основную электрическую цепь, в результате ток через нагревательный элемент более не проходит.

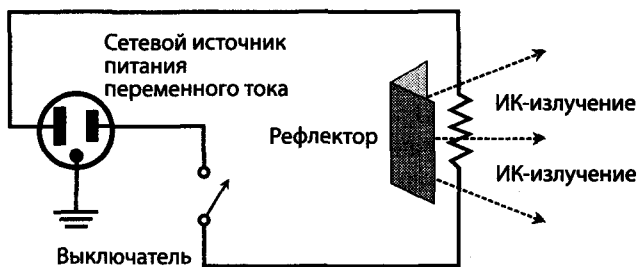


## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ОБОГРЕВАТЕЛИ ПОМЕЩЕНИЙ

Для того чтобы обогреть маленькую комнату или поднять температуру в большой комнате на несколько градусов, можно использовать портативные *электрические обогреватели помещений*. Существует множество различных конструкций таких обогревателей. Общим в конструкции является то, что все они имеют нагревательные элементы с переключателями. У некоторых есть вентиляторы, которые подают холодный воздух сзади или снизу, а нагретый воздух выдувается вперед (рис. 3.2, А). Другие преимущественно обогревают за счет ИК-излучения, направляемого в комнату при помощи больших рефлекторов (рис. 3.2, Б).



А



Б

**Рис. 3.2.** Упрощенная функциональная схема портативного электрического обогревателя помещений: А — вентилятор гонит нагретый воздух в комнату; Б — рефлектор направляет ИК-излучение в комнату (выключатели на рисунке находятся в выключенном состоянии, но при работе обогревателя они, конечно, устанавливаются во включенное состояние)





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

Не все электрические обогреватели помещений удачно сконструированы. Некоторые из них не слишком велики по размеру для того, чтобы рассеять всю тепловую мощность, которую они вырабатывают. В результате они могут перегреться и фактически сами себя разрушить. Самые лучшие электрические обогреватели помещений довольно большие и массивные, с проводами, рассчитанными на большую мощность. У большинства корпус целиком металлический. У некоторых корпус пластиковый, внутри установлены металлические рефлекторы, которые закрыты металлическими решетками или жалюзи для того, чтобы предотвратить соприкосновение потребителя с нагревательными элементами. В некоторых приборах элементы сконструированы в виде керамической формы с металлическими спиралями, вставленными в форму или намотанными вокруг нее. В настоящее время большинство (но не все!) портативных электрических обогревателей помещений сами выключаются автоматически, если они перегреваются или опрокидываются.

Покупатели должны быть осторожны! Когда вы пользуетесь обогревателем такого типа, внимательно прочитайте инструкцию и детально следуйте ей. Пренебрежительное или неправильное использование может привести к ожогам, пожарам или короткому замыканию.

### **ИЗЛУЧАЮЩИЕ ОБОГРЕВАТЕЛИ НА РЕЗИСТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ДЛЯ МЕСТНОГО ОБОГРЕВА**

Используя обогреватели на резистивных элементах с *рефлекторами* для местного обогрева, вы можете эти элементы установить на потолке. Это гарантирует, что шанс повредить их будет минимальным и что люди не смогут случайно дотронуться до горячих элементов. Рефлекторы направляют почти всю тепловую энергию вниз, в комнату, и минимизируют потери тепловой энергии вследствие теплопроводности из-за контакта с потолком или крышей. Термостаты в каждой комнате позволяют установить температуру в помещении в соответствии с пожеланиями его обитателей.

Такая обогревательная система работает даже несмотря на то, что горячий воздух всегда поднимается вверх. Дело в том, что первичный вид передачи тепловой энергии в данном случае — это ИК-излучение, которое происходит одинаково хорошо в любом направлении, в том числе вниз. ИК-энергия от потолочных элементов обогревает людей и предметы вниз. В итоге вся тепловая энергия поглощается предметами и людьми и они будут нагревать воздух путем конвекции и теплопроводности, но это уже вторичные виды передачи тепловой энергии.



### ПРИСТЕННЫЕ ОБОГРЕВАТЕЛИ НА РЕЗИСТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Радиаторы, устанавливаемые на стене, могут использоваться для местного обогрева. Эти радиаторы похожи на те, которые используются в системах на горячей воде или паре. К электрическим системам применимы такие же принципы, что и к упомянутым выше, основанным на других источниках тепловой энергии. Основное преимущество электрического обогрева в этом случае состоит в том, что оно не создает никакой опасности различных повреждений, вызванных утечкой воды или пара.

Пристенные радиаторы обычно размещаются на внешних (уличных) стенах у самого пола под окнами. Тепло передается воздуху в комнате в основном благодаря конвекции. Есть небольшой зазор между полом и радиатором, куда попадает холодный воздух, который затем проходит через радиаторные пластины и поднимается вверх вдоль стены. Пластины закрываются металлическими решетчатыми крышками, чтобы защитить их от повреждения и уменьшить вероятность того, что люди обожгутся или предметы загорятся, контактируя с пластинами. Тем не менее должна быть предусмотрена возможность уборки между радиаторами, устанавливаемыми у пола, и предметами обстановки, такими как мебель и шторы.

### ЦЕНТРАЛЬНОЕ ОТОПЛЕНИЕ НА РЕЗИСТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

В некоторых печах используется отопление с помощью резистивных элементов. Вместо топки, где происходит горение, устанавливаются высокоомощные резистивные элементы. Электрические печи обычно работают от сети переменного тока напряжением 234 В. При той же величине сопротивления нагревательных элементов такая печь обеспечивает мощность в четыре раза большую, чем печь, рассчитанная на напряжение 117 В переменного тока. Вспомним формулы для напряжения и сопротивления:

$$P_{\text{Вт}} = E^2/R,$$
$$P_{\text{БТЕ/ч}} = 3,41E^2/R.$$

Из этих формул мы можем видеть, что если напряжение ( $E$ ) увеличивается вдвое, то мощность ( $P_{\text{Вт}}$  или  $P_{\text{БТЕ/ч}}$ ) растет в  $2^2$ , т. е. в 4 раза. Это, конечно, справедливо, если нагревательные резистивные элементы могут выдерживать удвоенный ток и генерировать в четыре раза большую мощность.

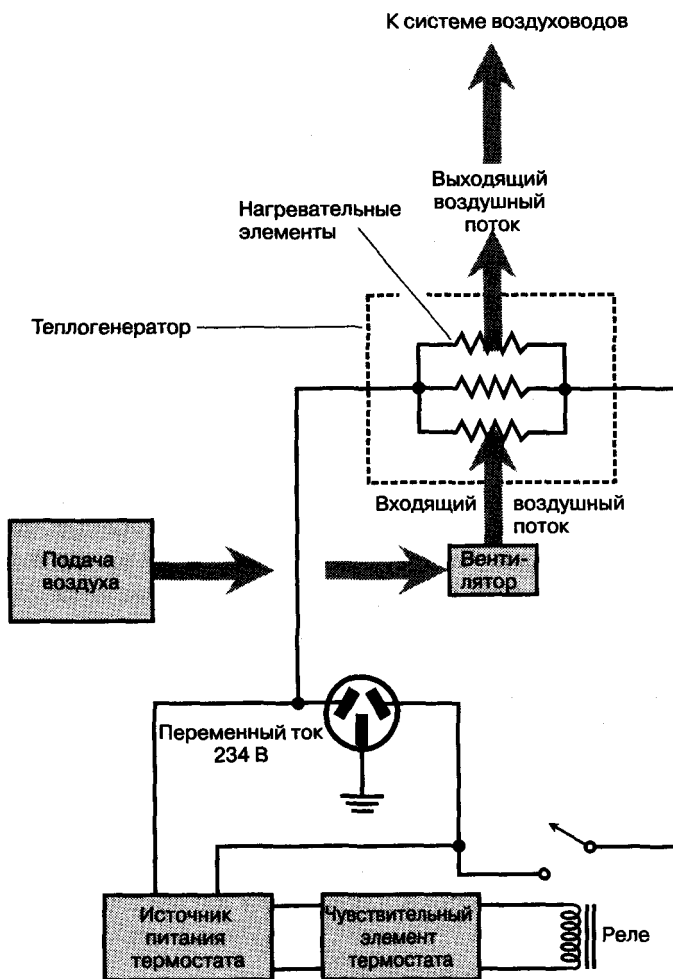
Мощность электрической печи с нагревательным элементом достигает нескольких киловатт, а две или более печи, соединенные вместе,



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

обеспечат теплом весь дом или здание. Можно использовать комбинацию такой печи и системы с принудительной воздушной тягой.

Рисунок 2.1 (из предыдущей главы) может служить упрощенной функциональной схемой нагревательной системы на резистивных элементах с применением системы воздушного отопления. А сама печь изображена на рис. 3.3 и, по сути дела, представляет собой увеличенный электрический обогреватель помещений.



**Рис. 3.3.** Функциональная схема электрической печи с системой воздушного отопления. Стрелками показано направление воздушных потоков



### **ПРЕИМУЩЕСТВА СИСТЕМ ОБОГРЕВА НА РЕЗИСТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

- Отсутствуют отработанные газы или сопутствующие отходы как в доме, так и вне его.
- Нет риска отравления угарным газом СО в случае неисправности системы.
- Нет опасности взрыва, поскольку не используются горючие газы.
- В приборах для местного обогрева индивидуальные термостаты могут быть установлены в каждой комнате, так, чтобы температура в них подстраивалась в соответствии с использованием помещения.
- При применении излучающих приборов для местного обогрева пыль не циркулирует по дому.
- Предохранители или автоматы защиты сети могут обеспечить дешевый автоматический механизм отключения в случае короткого замыкания, если электрическая система правильно заземлена.

### **НЕДОСТАТКИ СИСТЕМ ОБОГРЕВА НА РЕЗИСТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

- С учетом всех факторов генерирование мощности путем пропускания тока через резистивный элемент — это неэффективный способ обогрева комнаты или здания. В отопительном приборе все электричество преобразуется в тепло, но электрогенераторы, от которых поступает электрический ток, менее эффективны, чем типичные печи на газе или солярке.
- Если рассматривать процесс использования электричества в целом, то с учетом всех стадий процесса электрические системы отопления загрязняют окружающую среду больше, чем системы на газе или солярке, имеющие ту же мощность.
- Если пропадает напряжение в сети, то электрические системы на резистивных элементах не будут работать, а устанавливать электрогенератор в доме непрактично, так как потребление тока будет слишком большим.
- Электрические приборы для местного обогрева создают опасность пожара, если они плохо сделаны или неправильно используются.
- Может произойти электрическое замыкание, если электрический прибор для обогрева помещения неправильно заземлен.
- Использование систем отопления на резистивных элементах в качестве основных в местностях с суровыми зимами будет неэкономным до тех пор, пока стоимость электроэнергии не снизится.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### Задача 3.3

Предположим, что обогревательный прибор работает от сети переменного тока с номинальным напряжением 117 В, как обычно в американских домах. Если сопротивление нагревательного элемента составляет 18,25 Ом, когда он подсоединен к источнику электрического тока и полностью разогрет, сколько он выделит тепловой мощности в Вт? Сколько он выделит тепловой мощности в Британских тепловых единицах в час? Округлите ответы до ближайших целых чисел.

### Решение 3.3

Для того чтобы определить тепловую мощность в Вт, используем формулу для *мощности в ваттах*, выраженной через напряжение переменного тока и сопротивление:

$$P_{\text{Вт}} = E^2/R = 117^2/18,25 = 750 \text{ Вт.}$$

Для того чтобы определить тепловую мощность в Британских тепловых единицах в час, умножим тепловую мощность в ваттах на коэффициент 3,41:

$$P_{\text{БТЕ/ч}} = 3,41 \times 750 = 2558 \text{ БТЕ/ч.}$$

## Принципы охлаждения

В описаниях работы систем охлаждения в качестве единицы энергии часто используется калория (кал), определение которой приведено в главе 1. Как следует из этого определения, для того чтобы чистая вода нагрелась или охладилась на 1 °С, она должна получить или отдать точно одну *калорию на грамм* (1 кал/г)<sup>2</sup>. Одна калория на грамм равна 4,184 *джоуля на грамм* (Дж/г), или 4184 *джоулям на килограмм* (Дж/кг)<sup>3</sup>.

### ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ

Как подчеркивалось в главе 1, приведенные там определения справедливы, только если вода остается полностью жидкой в течение процесса нагревания и охлаждения. Если вода превращается в пар (испарение), она поглощает энергию из окружающей среды, а окружающая среда соответственно теряет тепловую энергию, становясь

<sup>2</sup> Соответствует понятию «удельное количество теплоты». — *Прим. пер.*

<sup>3</sup> В России принято 1 кал/г = 4,1868 Дж/г = 4186,8 Дж/кг согласно 5-й Международной конференции по свойствам водяного пара. — *Прим. пер.*



холоднее. Наоборот, если водяной пар превращается в воду (конденсация), вода передает тепло в окружающую среду, и окружающая среда увеличивает свою тепловую энергию, становясь теплее. То же самое происходит с другими веществами, которые меняют свое агрегатное состояние из жидкого в парообразное и наоборот.

Предположим, что кастрюля с водой стоит на плите и температура воды точно равна точке кипения ( $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), но активное кипение еще не началось. Так как тепло постоянно подводится, начинается кипение (быстрое испарение). Все большая часть воды становится паром и все меньшая остается жидкостью. Но температура воды в кастрюле остается равной  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В конце концов вся вода выкипит и останется только водяной пар. Представим, что мы поместили весь этот пар в закрытый сосуд, из которого был заранее выкачан весь воздух, так что там будет находиться только водяной пар. Предположим, что конфорка плиты продолжает нагревать воду даже после того, как она вся превратилась в пар. Температура пара поднимется выше  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Верхний предел температуры определяется только размерами и температурой конфорки.

Представим теперь, что мы снимем сосуд вместе с кастрюлей с плиты и эту «камеру» поместим в место, где температура чуть выше точки замерзания. Водяной пар начнет остывать. Температура пара в конце концов понизится до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и с этого момента он начнет конденсироваться. Конденсирующаяся жидкость будет иметь температуру  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Этот процесс продолжится до тех пор, пока весь пар в камере не сконденсируется. Камера продолжит становиться холоднее. В какой-то момент весь пар превратится в жидкость, потом температура воды станет меньше  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  и будет продолжать уменьшаться.

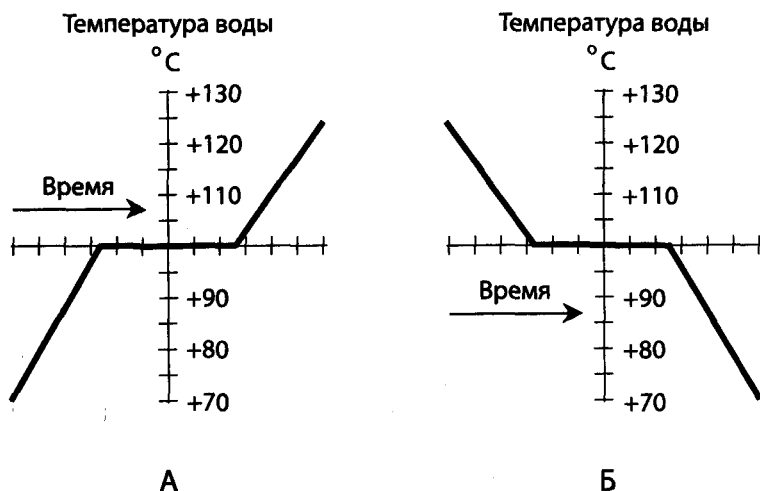
### ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ

Интересно, что температура воды не поднимается и не падает непрерывно, когда происходит нагревание или охлаждение вблизи точек кипения и конденсации. Вместо этого изменение температуры воды происходит примерно в соответствии с кривой, представленной на рис. 3.4. На рисунке 3.4, А температура воздуха повышается, на рис. 3.4, Б — понижается. Изменение температуры воды прекращается, когда вода кипит или конденсируется. Существуют другие вещества, демонстрирующие те же свойства при кипении и конденсации, причем некоторые из них отличаются большим количеством теплоты, которое они забирают или отдают при изменении агрегат-



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

ного состояния. Такие вещества используются в системах, которые передают тепловую энергию из одного места в другое. Это *хладагенты*, к числу которых относится фреон R-134a — один из группы химических элементов, называемых *гидрофторуглеродами* (ГФУ, HFC); они используются в системах, передающих тепловую энергию из одного места в другое.



**Рис. 3.4.** Процессы кипения и конденсации воды: А — в процессе испарения жидкая вода поглощает тепло из окружающей среды; Б — в процессе конденсации водяной пар отдает тепло окружающей среде. Температура воды остается постоянной во время конденсации и испарения

Когда данное количество жидкости переводится в газообразное состояние, поглощается определенное количество энергии; при этом оценки делаются, когда вещество существует в одном из этих состояний. В случае чистой воды потребуется 540 кал (2260 Дж), чтобы преобразовать 1 г жидкости при +100 °С в 1 г пара при +100 °С. В противоположном процессе, если 1 г чистого водяного пара при +100 °С полностью конденсируется и становится жидкостью при +100 °С, при этом выделяется 540 кал (2260 Дж) энергии. Это количество меняется для разных веществ и называется *теплотой парообразования*<sup>4</sup> для данного вещества.

<sup>4</sup> Для единицы массы вещества правильнее не «теплота парообразования», а «удельная теплота парообразования». — *Прим. пер.*



Если теплоту парообразования (в калориях на грамм или в джоулях на грамм) обозначить  $h_v$ , количество теплоты, сообщенное данному количеству вещества или отданное им (в калориях или в джоулях соответственно), обозначить  $h$ , а массу образца (в граммах) обозначить  $m$ , тогда

$$h_v = h/m.$$

### Задача 3.4

Предположим, что некое вещество переходит из жидкого состояния в парообразное (или наоборот) при температуре  $+500^\circ\text{C}$  при нормальном атмосферном давлении. Представим сосуд, содержащий 67,5 г этого вещества полностью в жидком состоянии при температуре  $+500^\circ\text{C}$ . Если удельная теплота парообразования равна 845 кал/г, сколько тепловой энергии в калориях поглотит образец вещества, если полностью испарится? Округлите ответ до трех значащих цифр и запишите ответ, пользуясь в качестве множителя числом 10 в нужной степени.

### Решение 3.4

Единица измерения для  $m$  — грамм, а для  $h_v$  — калория на грамм. Мы можем воспользоваться вышеприведенной формулой, которая выражает количество теплоты  $h$  в калориях, подставив заданные числа. Но сначала преобразуем ее, умножив обе части равенства на  $m$ , что даст нам следующую формулу:

$$h = h_v m.$$

Подставим числа, считая  $h_v = 845$ , а  $m = 67,5$ , и получим

$$h = 845 \times 67,5 = 57\,038 \text{ кал} = 5,7 \times 10^4 \text{ кал}.$$

### Задача 3.5

Предположим, что вещество переходит из парообразного состояния в жидкое (или наоборот) при температуре  $+15^\circ\text{C}$  при нормальном атмосферном давлении. Представим закрытую систему, содержащую точно 2 кг этого вещества полностью в парообразном состоянии при температуре  $+15^\circ\text{C}$ . Если теплота парообразования равна 8500 Дж/г, сколько тепловой энергии в джоулях отдаст образец вещества, если полностью превратится в жидкость? Округлите ответ до двух значащих цифр и запишите ответ, пользуясь в качестве множителя числом 10 в нужной степени.





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### Решение 3.5

Во-первых, мы должны перевести массу образца, 2 кг, в граммы. Мы знаем, что 1 кг = 1000 г, так что 2 кг = 2000 г. Теперь мы можем использовать ту же формулу, что и ранее:

$$h = h_{\nu} m.$$

Подставим числовые значения, считая  $h_{\nu} = 8500$ , а  $m = 2000$ , и получим

$$h = 8500 \times 2000 = 17\,000\,000 \text{ Дж} = 1,7 \times 10^7 \text{ Дж}.$$

### Задача 3.6

Преобразуем количество тепловой энергии, полученное в предыдущем примере, в Британские тепловые единицы. Назовем эту величину  $h_{\text{БТЕ}}$ . Округлим ответ до сотен.

### Решение 3.6

Из главы 1 вспомним тот факт, что 1 БТЕ = 1055 Дж. Это означает, что мы должны поделить указанный результат на 1055, тогда получим

$$h_{\text{БТЕ}} = 1,7 \times 10^7 / 1055 = 16\,100 \text{ БТЕ}.$$

## Электрические тепловые насосы

*Электрические тепловые насосы* используют электричество, чтобы питать установку, которая перемещает тепловую энергию из одного места в другое. Термин «насос» используется по той причине, что электричество применяется для того, чтобы «перекачать» тепловую энергию из одного места в другое, а не для того, чтобы непосредственно вырабатывать тепловую энергию.

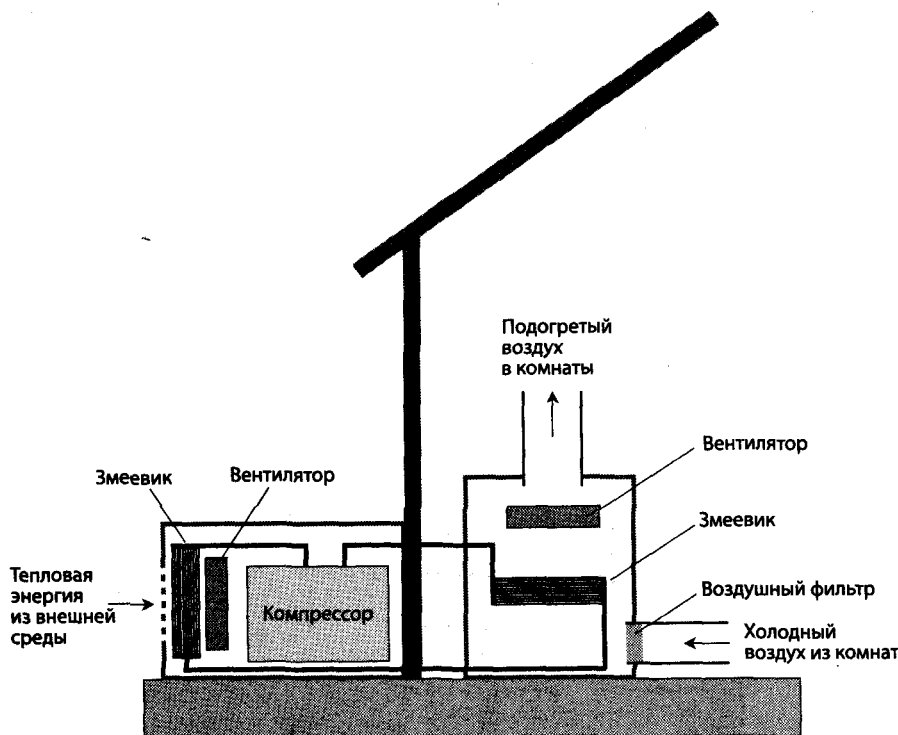
### ТЕПЛОВОЙ НАСОС «ВОЗДУХ–ВОЗДУХ»<sup>5</sup>

На рисунке 3.5 представлена упрощенная функциональная схема *теплового насоса «воздух–воздух»*, обеспечивающего передачу тепловой энергии с улицы в дом. Это «режим обогрева». Воздух с улицы с помощью вентилятора подается к змеевику и обдувает его. В змеевик под давлением поступает хладагент. В процессе движения хладагента по змеевику давление в хладагенте падает, происходит его испарение и охлаждение, что требует подвода энергии, которая

<sup>5</sup> Термины и текст этого раздела скорректированы переводчиком согласно принятой в России терминологии и полным описаниям принципа действия.



и поглощается из воздуха, обдувающего змеевик. Это происходит, даже если воздух с улицы достаточно прохладный. Жидкий хладагент затем проходит по трубе (на рис. 3.5 показана жирной линией) через компрессор к «внутреннему» змеевику, подвергаясь компрессии и конденсации. Это сопровождается выделением тепловой энергии, которую хладагент получил от воздуха с улицы. Поэтому температура «внутреннего» змеевика поднимается, становясь при этом значительно выше, чем обычная температура в доме. Воздух, обдувая «внутренний» змеевик, нагревается примерно до  $35^{\circ}\text{C}$  ( $95^{\circ}\text{F}$ ), засасывается в воздуховод и циркулирует по дому.



**Рис. 3.5.** Тепловой насос «воздух-воздух», обеспечивающий передачу тепловой энергии из внешней среды в здание

На рисунке 3.6 показана функциональная схема такого же теплового насоса, но обеспечивающего перенос тепловой энергии из дома на улицу. Это «режим кондиционирования». Домашний теплый воз-



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

дух засасывается с помощью вентилятора к «внутреннему» змеевику и обдувает его. В змеевик под давлением поступает хладагент. В процессе распространения в змеевике хладагента давление в нем падает, происходит его испарение и охлаждение, что требует притока энергии, которая и поглощается из воздуха, обдувающего змеевик. Таким образом, воздух, который обдувал змеевик, охлаждается, и этот охлажденный воздух засасывается в воздуховод и циркулирует по дому. Процесс охлаждения также обеспечивает удаление некоторой избыточной влажности из домашнего воздуха, так что «внутренний» змеевик «запотевает». Нагретый жидкий хладагент проходит по трубе (показана жирной линией) через компрессор к «внешнему» змеевику, подвергаясь компрессии и конденсации. Это сопровождается выделением тепловой энергии, которую хладагент получил от домашнего воздуха. «Внешний» вентилятор выдувает теплый воздух на улицу.

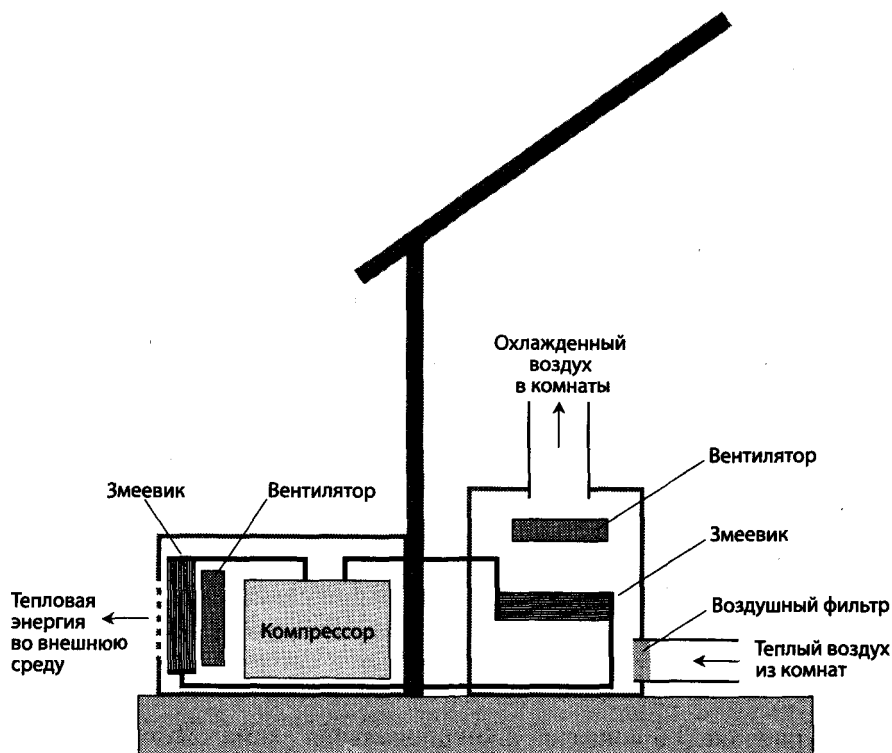


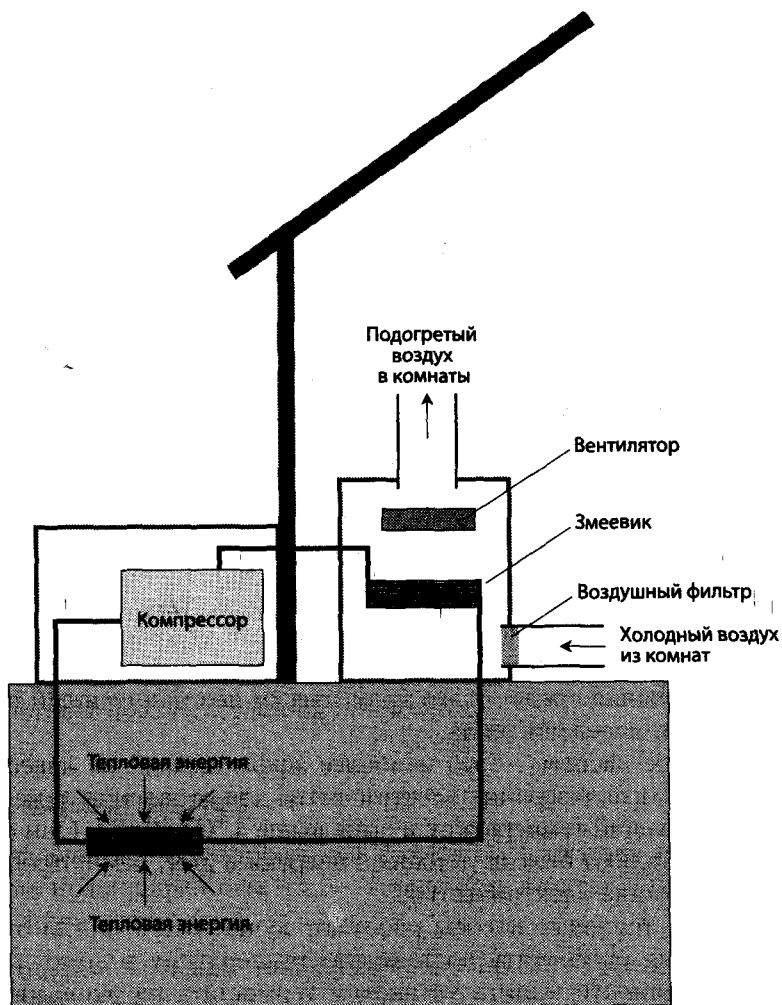
Рис. 3.6. Тепловой насос «воздух—воздух», обеспечивающий передачу тепловой энергии из здания во внешнюю среду



### ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ПОДЗЕМНЫЕ (ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ) ИСТОЧНИКИ ТЕПЛА

Некоторые тепловые насосы используют не тепловую энергию воздуха из внешней среды, а извлекают тепловую энергию из недр земли и переносят ее в дом.

Рисунок 3.7 служит иллюстрацией этого принципа.



**Рис. 3.7.** Тепловой (геотермальный) насос «грунт–воздух», обеспечивающий передачу тепловой энергии из-под земли в здание



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

В основном это модифицированный тепловой насос «воздух—воздух». «Внешний» змеевик размещен под Землей, поэтому «внешний» вентилятор не требуется. В некоторых системах «внешний» змеевик размещается у самого дна глубокого пруда или озера. Тепло передается от земли к «внешнему» змеевику благодаря теплопроводности. Это *тепловой насос «грунт—воздух»*, или *геотермальный тепловой насос*.

В некоторых местностях земля достаточно теплая в глубине. В Америке в Дакоте, Саратогe, Вайоминге и в Хот-Спрингс (Южная Дакота) много *геотермальных источников*, несмотря на суровые зимы. Исландия — это еще один часто приводимый пример. В подобных местностях тепловые насосы «грунт—воздух» будут эффективно работать при гораздо более низких температурах на улице, чем тепловые насосы «воздух—воздух». При этом «внешний» змеевик вполне можно заменить трубами, закопанными довольно глубоко, чтобы обеспечить хороший подогрев воды, которую потом можно непосредственно подавать в дом.

Тепловой насос «грунт—воздух» может использоваться для охлаждения дома летом в большинстве местностей. Однако в некоторых районах (таких как упоминавшиеся выше) подземная температура слишком высокая. Это идеально для обогрева дома тепловым насосом «грунт—воздух», но не годится для охлаждения дома с помощью такой технологии.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

- Тепловая энергия, имеющаяся во внешней среде, — восстанавливаемый и практически неограниченный источник.
- Для тепловых насосов, работающих в режиме кондиционирования, внешняя среда — это практически неограниченный резервуар для передачи тепла.
- Тепловые насосы — это наиболее эффективный из известных методов использования электричества для отопления дома, обеспечивающий температуру в доме выше 4 °C (39 °F). Они обычно доставляют больше тепловой энергии в дом, чем потребляют от источника электричества.
- Так как тепловые насосы работают лучше всего, когда от них требуется обеспечить постоянную температуру в доме, то нет необходимости менять установку термостата на экономичный режим, когда вы планируете уехать из дома на несколько дней.



- От теплового насоса исходит только холодный или теплый воздух, в зависимости от режима. Он не выделяет угарный газ СО и никакие другие ядовитые газы. (В то же время некоторое загрязнение происходит на удаленной электрической станции, если она работает на ископаемом топливе.)
- Тепловые насосы «грунт–воздух» с достаточно глубоко размещенными «внешними» змеевиками могут хорошо работать даже в местах, где зимы суровые. На глубине нескольких метров под землей температура постоянная и составляет по крайней мере 10 °C (50 °F) в большинстве местностей.

### НЕДОСТАТКИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

- Тепловые насосы хорошо работают, если температура вне дома выше 4 °C (39 °F), но когда становится холоднее, то во внешней среде оказывается недостаточно тепловой энергии для обеспечения их эффективной работы.
- В старых системах в качестве хладагента использовался *хлорфторуглерод* (ХФУ, CFC), при утечках которого разрушается *озоновый слой*. Малое количество ХФУ может разрушить большое число молекул озона. Озоновый слой помогает экранировать поверхность Земли от чрезмерного облучения УФ-излучением Солнца.
- Воздух, который приходит от теплового насоса, имеет температуру около 35 °C (95 °F). Это теплее, чем обычная температура в доме, но холодный дом обогреть быстро не удастся.
- Установка теплового насоса сравнительно дорога. Это особенно справедливо для термальных источников, расположенных глубоко под землей. Потребуется достаточно много времени, чтобы новая система окупилась.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отвечая на эти вопросы, вы можете пользоваться текстом книги. Восемь правильных ответов — хороший результат. Ответы помещены в конце книги.

1. Нижнее значение температуры по шкале Фаренгейта соответствует
  - (a)  $-100\text{ }^{\circ}\text{F}$ ;
  - (b)  $-273\text{ }^{\circ}\text{F}$ ;



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- (в)  $-460^{\circ}\text{F}$ ;
  - (г) в шкале Фаренгейта нет нижнего ограничения.
2. Представьте, что разница между температурой в доме и на улице составляет  $15^{\circ}\text{F}$ . Это примерно соответствует:
- (а)  $27^{\circ}\text{C}$ ;
  - (б)  $15^{\circ}\text{C}$ ;
  - (в)  $8,3^{\circ}\text{C}$ ;
  - (г)  $5^{\circ}\text{C}$ .
3. Что из нижеследующего не является преимуществом тепловых насосов перед обогревателями на резистивных элементах?
- (а) тепловые насосы «воздух—воздух» производят больше тепловой энергии в Вт  $\times$  ч, чем они потребляют электрической энергии, при условии, что температура на улице выше  $4^{\circ}\text{C}$  ( $39^{\circ}\text{F}$ );
  - (б) тепловые насосы «воздух—воздух» могут работать независимо от того, насколько холодно на улице, в то время как обогреватели на резистивных элементах не будут работать, если температура на улице ниже нуля;
  - (в) при использовании обогревателей на резистивных элементах риск короткого замыкания ничтожен или его совсем нет, в то время как тепловые насосы «воздух—воздух» опасны в этом отношении;
  - (г) тепловые насосы «воздух—воздух» выделяют некоторое количество угарного газа  $\text{CO}$ , а обогреватели на резистивных элементах его не выделяют.
4. Количество калорий на грамм, требуемое, чтобы подогреть или охладить вещество, которое остается в жидком состоянии, называется:
- (а) температурой стабилизации;
  - (б) теплотой конденсации;
  - (в) удельной теплотой парообразования;
  - (г) ни одним из вышеперечисленных терминов.
5. Предположим, что разница между температурой в доме и на улице составляет  $11^{\circ}\text{K}$ . Это примерно соответствует:
- (а)  $20^{\circ}\text{F}$ ;
  - (б)  $11^{\circ}\text{F}$ ;
  - (в)  $9^{\circ}\text{F}$ ;
  - (г)  $6^{\circ}\text{F}$ .



6. Если напряжение, прикладываемое к нагревательному элементу в портативном электрическом обогревателе, для обогрева помещений уменьшается вдвое, в то время как сопротивление элемента остается постоянным, тогда тепловая мощность, которую элемент обеспечивает, в Британских тепловых единицах будет:
- (а) вдвое больше;
  - (б) вчетверо больше;
  - (в) вдвое меньше;
  - (г) вчетверо меньше.
7. Если ток через элемент в электрическом обогревателе помещений увеличится вдвое, в то время как сопротивление элемента останется постоянным, тогда тепловая мощность, которую элемент обеспечивает, в ваттах будет:
- (а) вдвое больше;
  - (б) вчетверо больше;
  - (в) вдвое меньше;
  - (г) вчетверо меньше.
8. Когда хладагент в системе кондиционирования воздуха конденсируется, это приводит к:
- (а) выделению тепловой энергии в окружающее пространство;
  - (б) поглощению тепловой энергии из окружающего пространства;
  - (в) ни к выделению тепловой энергии в окружающее пространство, ни к ее поглощению из него;
  - (г) выделению хлорфторуглерода (ХФУ, CFC), что вызывает разрушение озонового слоя.
9. Предположим, что разница между температурой в доме и на улице составляет 20 К. Это примерно соответствует:
- (а) 36 °C;
  - (б) 20 °C;
  - (в) 18 °C;
  - (г) 11 °C.
10. Преимущество теплового насоса «грунт–воздух» перед тепловым насосом «воздух–воздух» состоит в том, что:
- (а) тепловой насос «грунт–воздух» никогда не выделяет хлорфторуглерод (ХФУ, CFC), а тепловой насос «воздух–воздух» иногда немного выделяет;





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

(б) тепловой насос «грунт—воздух» может случайно выделить хлорфторуглерод (ХФУ, CFC), а тепловой насос «воздух—воздух» всегда немного выделяет;

(в) тепловой насос «грунт—воздух» может работать как кондиционер, охлаждая воздух в доме, а тепловой насос «воздух—воздух» не может;

(г) в некоторых местностях тепловой насос «грунт—воздух» может работать эффективно, когда на улице очень холодно и тепловой насос «воздух—воздух» уже не может работать.

# Глава 4

## Пассивные системы обогрева на солнечной энергии

Солнечная энергия — это реальный источник тепла для небольших зданий, находящихся в местностях, в которых достаточно много солнца. В Америке более солнечная погода на западе, чем на востоке (за исключением северо-западного побережья Тихого океана), и солнечный свет более интенсивен на юге, чем на севере. В Южной Америке и в Австралии северным регионам достается более интенсивный солнечный свет, чем южным. Африка, располагаясь вблизи экватора, обеспечена солнечным излучением круглый год.

### Окна на солнечной стороне

Солнечную энергию можно аккумулировать непосредственно внутри дома, чтобы она обогревала комнаты, если на южной стороне дома сделать большие окна и обеспечить поглощение и сохранение тепла полами, стенами и мебелью. Окна также можно разместить на крутых скатах крыш, обращенных преимущественно на юг. В идеальном случае вид на солнце из этих окон не должен быть ничем заслонен.

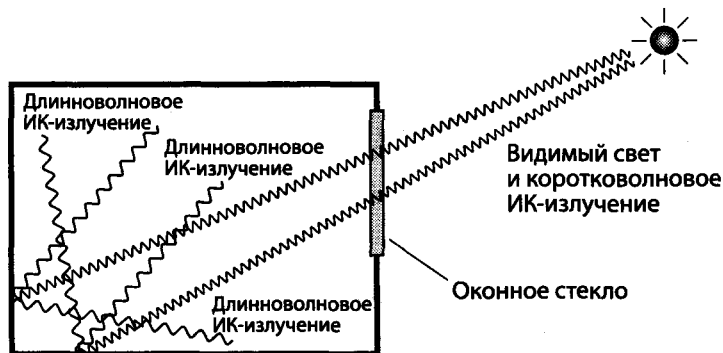
#### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Когда солнце светит в окна, видимый свет и коротковолновое ИК-излучение легко проникают сквозь стекло. Темные предметы в комнате поглощают видимый свет и коротковолновое ИК-излучение и переизлучают их в виде длинноволнового ИК-излучения. Оконные стекла менее прозрачны для длинноволнового ИК-излучения, чем для видимого света и коротковолнового ИК-излучения (рис. 4.1). Длинноволновое излучение отражается от стен и потолка, окрашенных в светлые тона, и от светлой мебели, «отскакивая, как мяч», от светлых предметов и постепенно нагревая темные предметы. Длинноволновое



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

ИК-излучение продолжает испускаться темными предметами в комнате и после того, как солнце село или погода испортилась. Если предметы не являются массивными, этот эффект продолжается недолго.



**Рис. 4.1.** Когда солнце светит в окно, коротковолновое ИК-излучение и видимый свет проникают сквозь стекло, хорошо пропускающее их, но менее прозрачное для длинноволнового ИК-излучения, испускаемого предметами в комнате. Поэтому тепловая энергия аккумулируется в комнате

Рисунок 4.1 схематично иллюстрирует принцип работы *базовой пассивной системы обогрева на солнечной энергии*. Эта система эффективна в местностях, где погода большей частью солнечная, даже если там на какое-то время наступают холода. Она хороша в любой комнате с большими, обращенными на юг окнами. Ночью плотные жалюзи или тяжелые шторы помогут минимизировать потери тепла через окно, которые могут произойти благодаря теплопроводности и конвекции при контакте между воздухом в комнате и холодным стеклом окна.

Базовая пассивная система обогрева на солнечной энергии может работать даже в таком климате, который, по мнению большинства людей, отличается суровой зимой, в том случае если погода в это время достаточно солнечная. Бигхорн Бэзин в Вайоминге — хороший пример такого места. Базовая пассивная система обогрева на солнечной энергии менее практична в таких районах, как побережье Орегона, где хотя и не слишком холодная зима, но небо чаще всего закрыто облаками.

Преимущества имеют дома, окна которых обращены на юг или хотя бы на юго-восток или северо-восток. Даже небольшое окно, через которое светит январское солнце, может обеспечить заметное теп-

## ГЛАВА 4 Пассивные системы обогрева на солнечной энергии



ло. Лучше всего работают базовые пассивные системы обогрева на солнечной энергии в домах, имеющих длинную стену, обращенную на юг, в которой есть большие окна и перед ними нет препятствий для распространения солнечных лучей. Открывая жалюзи и шторы, когда солнце светит в окна, и закрывая их, когда солнце уходит, можно сохранить полученное от солнца тепло и сократить расходы на отопление.

### **ПРЕИМУЩЕСТВА ПАССИВНЫХ СИСТЕМ ОБОГРЕВА НА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

- Расходы минимальны. Никакие серьезные конструктивные изменения не требуются. Вам понадобятся только темные диваны, темное ковровое покрытие или ковры, плотные жалюзи или шторы.
- Немного поменяв привычки, вы можете добиться реальной экономии энергии, не предпринимая более практически ничего существенного. Открывайте жалюзи и шторы, когда солнце светит в окна, и закрывайте их в остальное время.
- Снег на земле увеличивает количество солнечной энергии, которая поступает в окна в солнечные зимние дни, потому что снег отражает солнечный свет. Причем снег выпадает именно тогда, когда и требуется обогревать дом.
- Прямой солнечный свет помогает поднять настроение!

### **НЕДОСТАТКИ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ ОБОГРЕВА НА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

- Под действием солнечного света мебель и ковры выцветают. Более того, изменение цвета неоднородно, потому что в одних местах комнаты солнечного света больше, чем в других.
- Комната может перегреться в течение дня, если она получала много прямого солнечного света непрерывно в течение нескольких часов. Пытаясь сохранить тепло и не замерзнуть ночью, вы можете поддаться искушению «предвосхитить события» и днем поднять температуру в некоторых комнатах до некомфортно высокого уровня.
- Некоторые здания совсем не приспособлены для применения пассивных систем обогрева на солнечной энергии. Это здания, заслоняемые от солнца различными объектами, здания на склонах холмов, обращенных на север, и здания, в которых мало или совсем нет окон, выходящих на юг. В этих случаях пассивные системы обогрева на солнечной энергии вообще неприменимы.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Те же окна, которые днем пропускают солнечный свет, обогревающий комнату, будут способствовать потере тепла ночью, если они плохо сконструированы. В этом случае поможет термоизоляция, т. е. герметизация окон, а также установка стеклопакетов. Кроме того, не забывайте закрывать жалюзи и шторы на ночь.

### Задача 4.1

Когда я был ребенком, моя мама закрывала шторами большое окно в гостиной в дневные часы, особенно зимой, когда солнце, низко проходящее над горизонтом, могло освещать комнату. Она боялась, что под действием солнечного света выгорят мебель, ковровое покрытие и даже обои. Возможно ли предотвратить это выгорание и вместе с тем получить всю солнечную энергию, которая может попасть в дом?

### Решение 4.1

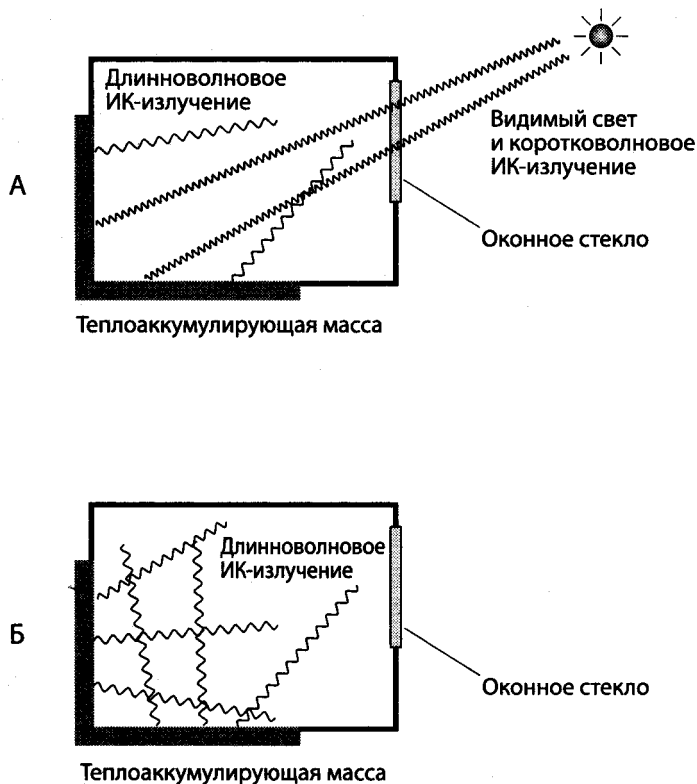
Чтобы уменьшить выгорание, нужно использовать окна с двойными или тройными стеклами. Выгорание большей частью происходит из-за УФ-излучения, а не ИК-излучения или видимого света, а стекла почти не пропускают УФ-излучение. Однако совсем исключить выгорание невозможно. Поэтому лучше покупать недорогие диваны и ковры, но только вы сами можете найти баланс между эстетикой и комфортной температурой в комнате.

## Теплоаккумулирующая масса

Пассивные системы обогрева на солнечной энергии могут быть достаточно эффективными, но если использовать их в отсутствие других методов отопления, то в доме возникнут значительные перепады температур между солнечными периодами и облачными или между днем и ночью. Для того чтобы уменьшить эти перепады, нужно добавить или встроить в конструкцию дома *теплоаккумулирующие массы*. Это обеспечит *тепловую инерцию*, так что температура воздуха в доме будет держаться практически на одном уровне, несмотря на частые изменения количества поступающей солнечной энергии.

### ПЛИТЫ В ПОЛУ И СТЕНАХ

Наиболее эффективные теплоаккумулирующие материалы производятся из веществ с высокой плотностью. Одним из самых лучших и самых дешевых материалов для этой цели является бетон. Вполне подходят для этого также кирпич, саман и камень.



**Рис. 4.2.** Теплоаккумулирующая масса внутренних стен и потолка. Когда солнце светит в комнату (А), теплоаккумулирующая масса поглощает тепловую энергию из видимого света и коротковолнового ИК-излучения. В пасмурные периоды или ночью (Б) теплоаккумулирующая масса переизлучает тепловую энергию в виде длинноволнового ИК-излучения

На рисунке 4.2 показаны аккумулирующие теплоту материалы в полу и во внутренних стенах комнаты, освещаемые солнечными лучами через оконные стекла. В идеальном случае солнце должно светить непосредственно на поверхность этих материалов для получения максимально возможного эффекта. Поверхность теплоаккумулирующих материалов должна быть темной, так как именно в этом случае она будет поглощать самое большое количество видимого света и коротковолнового ИК-излучения, падающего на нее. Для большинства людей интерьер с голыми бетонными стенами и бетонным полом без покрытия выглядит непривлекательно, но в принципе им может быть придан эле-



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

гантный вид путем специальной обработки или окраски. Как вариант отделки можно обложить бетонные стены комнаты кирпичом и таким образом придать презентабельный вид интерьеру комнаты.

Когда солнце светит в комнату (см. рис. 4.2, А), теплоаккумулирующая масса поглощает первичную энергию из видимого света и коротковолнового ИК-излучения. Теплоаккумулирующая масса излучает некоторое количество длинноволнового ИК-излучения, которое благодаря теплопроводности постепенно распространяется по комнате, нагревая стены, пол, потолок, мебель и, в конечном счете, воздух. Когда солнца нет (рис. 4.2, Б), теплоаккумулирующая масса медленно отдает свою тепловую энергию в виде длинноволнового ИК-излучения. Кроме того, благодаря теплопроводности эта масса отдает тепло воздуху.

Если пол изготовлен из теплоаккумулирующего материала, лучше изолировать его от земли, чтобы предотвратить потерю теплоты в землю вследствие теплопроводности. Теплоаккумулирующие материалы обычно не устанавливаются на внешних стенах дома, если они используются для обогрева здания, за исключением ситуации, когда эти стены имеют освещаемые солнцем внутренние поверхности, а между стеной и внешним отделочным покрытием обеспечена хорошая термоизоляция.

Тепловая инерция пропорциональна всей массе теплоаккумулирующего материала. Если погода в основном пасмурна, то самые лучшие результаты достигаются при установке больших теплоаккумулирующих масс. Чем больше теплоаккумулирующая масса, тем дольше она будет нагреваться, но и отдавать тепло она также будет более длительное время. В некоторых домах с пассивным обогревом с помощью солнечной энергии используются бетонные плиты толщиной 1 м и более в полах и стенах подвалов, чтобы увеличить теплоаккумулирующую массу. В экстремальных случаях железобетон или монолитный бетон может использоваться для внешних конструктивных элементов дома! Этот способ строительства предпочтителен в местностях, где часто бывают ураганы и летящие обломки могут разрушить обычный дом. Как дополнительный плюс дом такого типа довольно хорошо изолирован от внешних шумов. Конечно, это дорого, но некоторые люди считают, что выигрыш превышает первоначальные вложения.

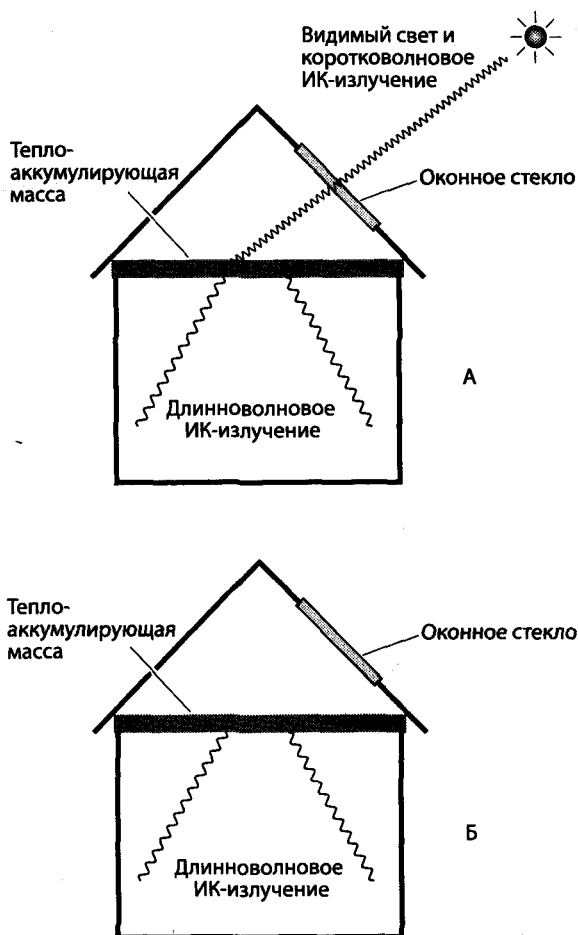
### Окна в крыше и покрытие потолка

Пассивная система обогрева на солнечной энергии может быть дополнена установкой окон на крутых скатах крыш, а также теплоаккумулирующей массы на полу чердака. Ее нижняя часть формирует потолок в жилом пространстве. Прямой солнечный свет нагревает

## ГЛАВА 4 Пассивные системы обогрева на солнечной энергии



эту массу (рис. 4.3, А) поступающим сверху видимым светом и ИК-излучением. Теплоаккумулирующая масса излучает длинноволновое ИК-излучение вниз, в жилое пространство, днем (см. рис. 4.3, А), а кроме того, ночью и в пасмурные дни (рис. 4.3, Б).



**Рис. 4.3.** Теплоаккумулирующая масса потолка (пола чердака) и окна на солнечную сторону на крыше с крутыми скатами. Когда солнце светит в комнату (А), теплоаккумулирующая масса поглощает тепловую энергию из видимого света и коротковолнового ИК-излучения и излучает тепловую энергию в виде длинноволнового ИК-излучения вниз, в комнату. В пасмурные периоды или ночью (Б) теплоаккумулирующая масса продолжает излучать длинноволновое ИК-излучение в жилое пространство



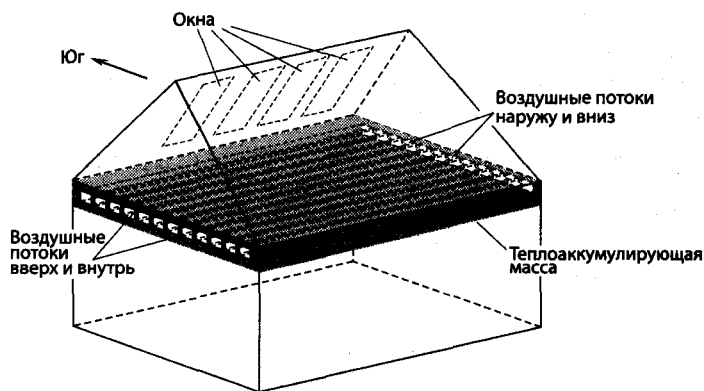


## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

Если базовый пассивный обогрев с помощью солнечной энергии используется в жилом помещении вместе с теплоаккумулирующей массой пола чердака, эффект от обоих методов суммируется. А еще лучше использовать дополнительные теплоаккумулирующие массы в полу и/или в стенах жилого помещения. Вместе с тем метод пассивного обогрева на солнечной энергии, показанный на рис. 4.3, будет функционален, даже если в жилом помещении мало окон. Главное условие — дом должен быть построен так, чтобы внешние стены смогли удержать массивное чердачное перекрытие.

### ВОЗДУШНОЕ ОТОПЛЕНИЕ С СОЛНЕЧНЫМИ ПАССИВНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛОТЫ

Создавая теплоаккумулирующую массу в полу чердака, положите бетонные блоки так, чтобы открытые полые каналы в них были направлены горизонтально вдоль длинной стены дома. Это будет способствовать движению через теплоаккумулирующую массу сквозных воздушных потоков (рис. 4.4). Для того чтобы всосать воздух из жилых комнат, пропустить его через эти полые каналы и снова вернуть в комнаты, можно использовать вентиляторы.



**Рис. 4.4.** С помощью каналов для движения воздушных потоков в теплоаккумулирующей массе обеспечивается комбинация воздушного отопления с пассивной системой обогрева на солнечной энергии. На этом упрощенном чертеже вентиляторы и воздуховоды не показаны. Пунктирными линиями очерчен контур внутренних помещений дома

В системе *воздушного отопления с солнечным пассивным источником теплоты* такого типа на одной из коротких стен дома делается входное отверстие воздухозаборника и устанавливаются вентиляторы,



а на противоположной стене делается выпускное отверстие для выходящего воздуха. Около выпускного отверстия также можно установить вентиляторы. Сеть воздухопроводов обеспечивает равномерное прохождение воздуха через все полые каналы в бетонных блоках. При этом тепловая энергия передается от блоков к воздуху. В дополнение теплота передается в жилое пространство благодаря длинноволновому ИК-излучению, направленному вниз от теплоаккумулирующей массы.

### **ПРЕИМУЩЕСТВА ОБОГРЕВА С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ МАССЫ**

- Теплоаккумулирующая масса уменьшает разницу между дневной и ночной температурой в помещении и между температурой в солнечные и пасмурные дни.
- Если наступит длительный пасмурный период, то теплота, накопленная в течение солнечных дней, будет дольше отдаваться в домах с большей теплоаккумулирующей массой, чем с меньшей.
- Установка теплоаккумулирующей массы в новом доме приведет к тому, что он будет лучше защищен в суровые зимы и устойчив к сильным ветрам, несущим обломки различных предметов.
- Дом, построенный с применением прочного бетона, камня или кирпича, более пожароустойчив, чем обычный щитовой дом.
- Теплоаккумулирующая масса может обеспечивать дополнительную звукоизоляцию между комнатами или этажами дома, а также дополнительную звукоизоляцию от уличного шума.

### **НЕДОСТАТКИ ОБОГРЕВА С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ МАССЫ**

- Стоимость строительства нового дома с большой теплоаккумулирующей массой может быть высокой. Бетон недешев, и иногда случаются перебои с его поставкой.
- Реконструкция старых домов с добавлением теплоаккумулирующей массы может оказаться сложной и дорогой. Если она сделана неправильно, дом может представлять опасность для жителей.
- Некоторые люди считают теплоаккумулирующую массу непривлекательной независимо от того, как она декорирована.
- Дом с большим количеством теплоаккумулирующих масс вызывает «ощущение массивности», когда вы в нем находитесь. Одним людям это ощущение нравится, а другим — нет.

### **Задача 4.2**

Почему дерево неэффективно в качестве теплоаккумулирующей массы?



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### Решение 4.2

Увеличение плотности (в килограммах на кубический метр), как правило, связано с увеличением количества частиц в атоме (в частности, протонов и нейтронов) на единицу объема. Чем больше компонентов в некотором объеме пространства, тем больше тепловой энергии в нем запасается и тем дольше она отдается. Вот почему, например, в саунах и банях используют камни. Дерево недостаточно плотное, поэтому и не будет работать эффективно в качестве теплоаккумулирующей массы.

## Системы нагрева воды при помощи солнечной энергии

Если вы когда-нибудь жили возле озера, то знаете, что температура воды в нем день ото дня остается почти постоянной, даже если погодные условия при этом все время меняются. Это потому, что вода имеет прекрасные характеристики теплоаккумулирующей массы, превышающие даже характеристики камня, кирпича и бетона. Замечали ли вы, что нужно много времени, чтобы вода в бассейне нагрелась от солнца, но столь же долго она будет остывать в пасмурные дни или в холодную погоду?

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Воду можно нагреть, пропуская ее через трубы, вмонтированные в черные металлические панели со стеклом, которое освещается прямым солнечным светом. Эти запаянные панельно-стеклянные сборки известны как *плоско-пластинчатые коллекторы* или *плоско-панельные коллекторы*. Самым лучшим местом для монтажа таких коллекторов являются плоские крыши или крыши с крутыми скатами, обращенными на юг и хорошо защищенными от ветра, который мог бы сбросить коллекторы с такой крыши. Кроме того, они могут быть размещены на плоских поверхностях, перпендикулярных линии, направленной в небо к полуденному солнцу в середине зимы. Это может быть сделано во дворе или в поле, на плоской крыше или на крыше со средним наклоном. Благодаря сочетанию *эффекта парника*, вследствие которого длинноволновое ИК-излучение аккумулируется внизу под стеклом, и того факта, что черные панели поглощают (и преобразуют в теплоту) всю лучистую энергию, попадающую на них, панели сильно нагреваются, и их температура может подниматься выше точки кипения воды в солнечные дни даже в середине зимы.

Если нагретая вода должна использоваться для мытья или принятия ванны, лучше использовать схему вторичного нагрева, чем непосредственное пропускание воды через плоско-пластинчатые коллек-



торы. Специальные *жидкости-теплоносители* обеспечивают накопление тепловой энергии в резервуаре для горячей воды, похожем на бак обычного водонагревателя. Жидкость-теплоноситель не замерзает в панелях в холодную погоду или в ночные заморозки. Точка ее замерзания существенно понижена добавлением этанола (этилового спирта) к обычной воде или использованием антифриза, подобного смесям, применяемым в автомобилях и грузовиках. Бак для накопления воды большой (по крайней мере несколько сотен литров, или 100 галлонов), таким образом, его содержимое представляет собой существенную теплоаккумулирующую массу. Бак хорошо теплоизолирован, поэтому он не отдает свою тепловую энергию, пока не потребуется горячая вода.

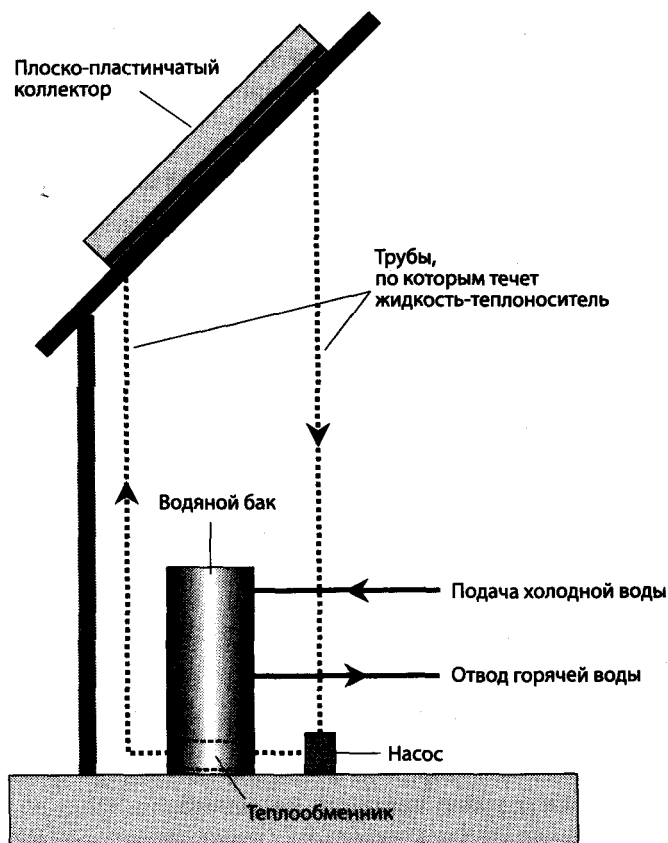


Рис. 4.5. Упрощенная схема системы нагрева воды, в которой используются плоско-пластинчатые коллекторы и жидкость-теплоноситель



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

На рисунке 4.5 представлена упрощенная схема системы нагрева воды, в которой используются плоско-пластинчатые коллекторы. С точки зрения теории она классифицируется как активная система и считается законченной, потому что в ней имеется электрический насос для жидкости-теплоносителя.

Если энергия, забираемая от плоско-пластинчатых коллекторов, предназначена для обогрева дома, не нужно никакого водяного или накопительного бака. Жидкость-теплоноситель может проходить непосредственно через коллекторы и прокачиваться через трубы, встроенные в бетонные тепловые массы в полу или в стенах здания. В этом случае плоско-пластинчатые коллекторы играют ту же роль, что и бойлеры на газе, пропане или солярке, а жидкость-теплоноситель играет роль воды. Насос, обеспечивающий циркуляцию, выключается ночью или в пасмурные дни, но теплоаккумулирующая масса продолжает излучать тепло в жилое пространство.

### **ПРЕИМУЩЕСТВА СИСТЕМ НАГРЕВА ВОДЫ ПРИ ПОМОЩИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

- Мощность, потребляемая системой, незначительна. Только насос требует электричества, но не потребляет много мощности.
- Это замкнутая система, в ней нет никакой утечки и не требуется добавления каких-либо внешних веществ.
- Она не создает никаких загрязнений, кроме тех, которые могут возникнуть вследствие необходимости обеспечения насоса электричеством, если электростанция работает на ископаемом топливе.
- Этот тип системы практически бесшумен. Электродвигатель насоса небольшого размера и малошумный, он может быть размещен на фундаменте или в другом месте, где никому не будет мешать.
- В такой системе мало движущихся частей, которые могли бы сломаться.

### **НЕДОСТАТКИ СИСТЕМ НАГРЕВА ВОДЫ ПРИ ПОМОЩИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

- Эта система не сможет работать, если погода длительное время остается пасмурной и слишком холодной.
- Плоско-пластинчатые коллекторы могут быть повреждены или разрушены сильным градом, скопившимся льдом (если вода проникла между пластинами и поверхностью крыши и замерз-



ла), падающими ветками деревьев или в результате других неблагоприятных обстоятельств.

- Если плоско-пластинчатые коллекторы не встроены заподлицо в крышу или в другую поверхность, их может сбросить сильный ветер.
- Плоско-пластинчатые коллекторы необходимо очищать от снега для того, чтобы обеспечить их работу. Если коллекторы расположены в верхней части крыши, то удаление снега с них может оказаться неудобным.
- Для систем обогрева жилых помещений потребуется много плоско-пластинчатых коллекторов, что вызовет большие расходы. Эти расходы будут особенно велики в холодном климате.
- Плоско-пластинчатые коллекторы неэффективны в местностях, где облачная погода стоит большую часть года.

### Задача 4.3

Можно ли использовать систему, которая была описана выше, для подогрева плавательного бассейна? Кажется логичным сделать это.

### Решение 4.3

Плоско-пластинчатые коллекторы уже несколько десятилетий используются для подогрева плавательных бассейнов. Если плавательный бассейн находится на улице и не используется, когда температура опускается ниже нуля, вода из бассейна может непосредственно циркулировать через плоско-пластинчатые коллекторы. В очень жарких местностях, таких как американские пустыни на юго-западе, цикл может быть обратным. Плоско-пластинчатые коллекторы могут использоваться для того, чтобы излучать излишнее тепло ночью, а днем система может быть перекрыта.

## Дом на склоне холма

Идеально спроектированный дом с пассивной системой обогрева на солнечной энергии — это дом, «построенный по компасу», так, что длинные стороны дома обращены прямо на юг и на север. Южная сторона дома должна иметь максимальную площадь окон, а северная сторона — минимальную. (В южном полушарии все наоборот: северная сторона дома должна иметь максимальную площадь окон, а южная сторона — минимальную.) Северная сторона должна быть хорошо теплоизолирована, чтобы потери тепловой энергии через нее были минимальны. Все эти критерии, взятые вместе, породили концепцию

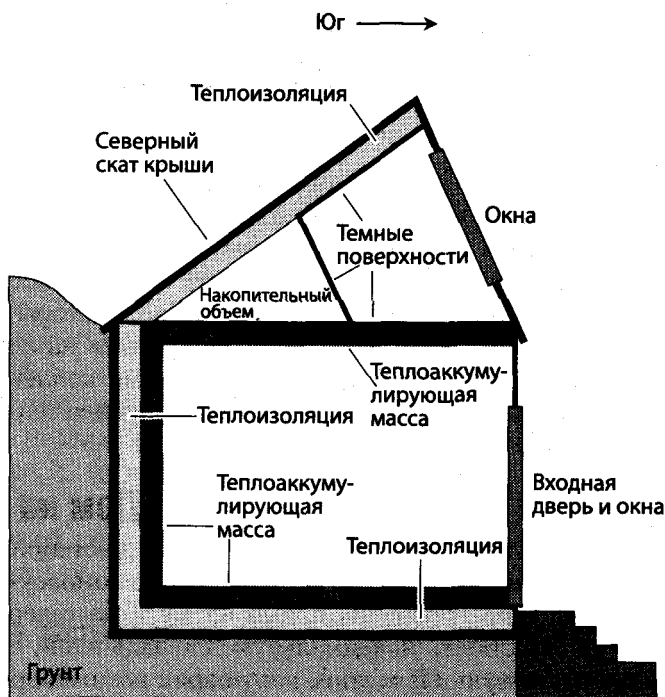


## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

«дом на склоне холма», который «встроен» в холм с его южной стороны. Этот прием использовался пионерами Американских Великих Равнин, когда они встраивали домики в обращенный к солнцу склон любого маленького холма, какой только находили.

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Рисунок 4.6 представляет собой упрощенный чертеж дома на склоне холма с пассивной системой обогрева на солнечной энергии. Окна на южной стороне наклонной асимметричной крыши обеспечивают накопление тепловой энергии в дневные часы благодаря эффекту парника. Ночью управляемые автоматически жалюзи закрывают окна на крыше, минимизируя потери тепла. Окна на южной стороне жилого помещения в течение дня пропускают солнечный свет, а ночью закрываются шторами или жалюзи (вручную).



**Рис. 4.6.** Пример конструкции «дом на склоне холма» с теплоаккумулирующими массами и окнами на солнечной стороне для пассивной системы обогрева на основе солнечной энергии. На рисунке показано поперечное сечение дома в направлении на восток



В теплоаккумулирующих массах в полу чердака (в потолке основного жилого пространства), а также в северной стене и в полу жилого пространства запасается тепло, поэтому дом остается теплым ночью и в пасмурные дни. За стенами и под полом создается теплоизоляция из строительной пены или стекловолокна, минимизирующая передачу тепла земле.

На рисунке 4.6 восточная и западная стены дома отсутствуют, потому что на этом рисунке показано поперечное сечение дома в направлении на восток. Однако, как можно себе представить, глядя на чертеж, восточная и западная стены находятся наполовину под поверхностью земли и наполовину над нею. Эти стены могут также иметь тепловые массы наряду с внешней теплоизоляцией подобно тому, как сконструирована северная стена. В стенах могут быть окна, чтобы пропускать часть утреннего и дневного солнца в жилое пространство. Эти окна, как и все окна в таком доме, должны иметь шторы или жалюзи, которые нужно закрывать на ночь.

### **ПРЕИМУЩЕСТВА ДОМА НА СКЛОНЕ ХОЛМА**

- Тепло в таком доме запасается прекрасно, если обеспечена хорошая теплоизоляция. (Если теплоизоляция недостаточна, то дом такого типа будет отдавать часть тепла земле.)
- Этот тип дома защищен от холодных северных ветров и в определенной мере от ветров, которыми сопровождаются сильные грозы в умеренных широтах.
- В доме этого типа обеспечена лучшая защита от внешних шумов, чем в большинстве других типов домов.
- Здесь меньше площадь внешней поверхности, поэтому работ по ремонту внешней части дома требуется меньше по сравнению с другими типами домов.
- В доме такого типа летом всегда более прохладно, чем в обычном доме. Ночью окна можно держать открытыми. В дневные часы выходящие на солнечную сторону окна можно закрыть и зашторить.

### **НЕДОСТАТКИ ДОМА НА СКЛОНЕ ХОЛМА**

- Движение грунта может стать проблемой в некоторых местностях. Со временем нестабильный холм разрушит дом, построенный на склоне.
- Важно обеспечить хороший дренаж для того, чтобы дом не затопило во время весеннего таяния снега или сильных ливней.





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Комнаты без стен на северной стороне здания такого типа будут получать мало или совсем не будут получать естественного света, если только во внутренних стенах дома не сделаны полупрозрачные окна.
- На крышу дома на склоне холма легко попасть с северной стороны, а потом возникнет риск свалиться с нее с восточной, южной или западной стороны, что может повлечь за собой материальную ответственность.
- Накопление газа *радона* может быть проблемой в части дома, находящейся под землей. Должны быть предприняты соответствующие меры, чтобы убедиться, что уровень радона не стал опасным для здоровья в жилой зоне.

### Задача 4.4

Вид на север из представленного на рис. 4.6 дома исключен. Даже если холм поднимается вверх сразу за домом, все же можно было бы видеть растущие рядом с домом деревья, а вдали — покрытые снегом вершины, особенно зимой, когда листья с деревьев опадут. Я хочу видеть все это из дома, но вместе с тем иметь преимущества дома на склоне холма. Как я могу этого добиться?

### Решение 4.4

На северной стороне дома, расположенного на склоне холма, могут быть сделаны небольшие окна. Крыша не обязательно должна находиться точно на уровне земли. Окна могут быть сделаны ближе к потолку, но это нормально, потому что вы хотите видеть окружающее пространство над поднимающимся вверх склоном холма. Если на поверхность этих окон с помощью профессионального мастера нанести тонированный пластик, использовать многокамерные стеклопакеты, эффективные жалюзи и шторы, для того чтобы минимизировать потери излучения ночью, вы будете любоваться северными видами и в дневные часы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отвечая на эти вопросы, вы можете пользоваться текстом книги. Восемь правильных ответов — хороший результат. Ответы помещены в конце книги.

1. Что из нижеперечисленного может увеличить количество солнечного излучения, попадающего в комнату, в базовой пассивной системе обогрева на солнечной энергии, если остальные факторы остаются неизменными?



- (а) листья, опавшие с деревьев;
  - (б) снег на крыше;
  - (в) снег на земле;
  - (г) установка теплоаккумулирующей массы.
2. Потери теплоты путем излучения из дома могут быть минимизированы:
- (а) использованием крыши с крутыми скатами при конструировании дома;
  - (б) ориентацией дома, при которой длинные стороны обращены на юг и на север;
  - (в) автоматически управляемыми жалюзи, которые закрываются ночью и открываются днем;
  - (г) использованием темной мебели и ковров.
3. Заполните пробел в следующем предложении, чтобы сделать его правильным: «Когда нет солнечного излучения, теплоаккумулирующая масса медленно отдает тепловую энергию \_\_\_\_\_, сохраняя жилое помещение теплым».
- (а) стенам благодаря ультрафиолетовому излучению и конвекции;
  - (б) воздуху благодаря ИК-излучению и теплопроводности;
  - (в) через теплоизоляцию в стенах благодаря принудительной воздушной тяге;
  - (г) земле благодаря теплопроводности.
4. Какой из следующих типов солнечного излучения хуже всего проникает через оконное стекло?
- (а) видимый свет;
  - (б) коротковолновое ИК-излучение;
  - (в) длинноволновое ИК-излучение;
  - (г) все три вышеупомянутых типа солнечного излучения проникают через оконное стекло одинаково хорошо.
5. Плоско-пластинчатые коллекторы следует монтировать:
- (а) на южной стороне крыши с крутыми скатами;
  - (б) на плоской крыше, обращенными прямо вверх;
  - (в) в вертикальном положении, направленными точно на север;
  - (г) в вертикальном положении, направленными точно на юг.
6. Использование конструкции «дом на склоне холма» исключается, если дом планируется построить:
- (а) там, где возможны перемещения почвы;
  - (б) там, где ветра дуют сильно и часто;



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- (в) там, где летом солнце светит почти ежедневно;
  - (г) там, где зимы обычно холодные.
7. Что из нижеперечисленного дает вклад в обогрев комнаты в пассивной системе обогрева на солнечной энергии?
- (а) видимый свет;
  - (б) коротковолновое ИК-излучение;
  - (в) длинноволновое ИК-излучение;
  - (г) все вышеперечисленное.
8. Базовая пассивная система обогрева на солнечной энергии без существенных теплоаккумулирующих масс:
- (а) не может обеспечить на практике никакого полезного эффекта обогрева;
  - (б) может побудить вас перегреть комнаты на солнечной стороне в течение дня;
  - (в) требует конструкции «дом на склоне холма», чтобы эффективно работать;
  - (г) требует крыши с крутыми скатами для того, чтобы эффективно работать.
9. Какое из веществ наименее эффективно запасает тепло?
- (а) дерево;
  - (б) вода;
  - (в) камень;
  - (г) бетон.
10. Какое практическое преимущество обеспечивает добавление этанола к воде, используемой как теплоноситель?
- (а) этанол предотвращает размножение бактерий, вирусов и других патогенных микробов в воде, используемой как теплоноситель;
  - (б) этанол предотвращает замерзание воды, используемой как теплоноситель;
  - (в) этанол предотвращает окисление труб, по которым течет вода, используемая как теплоноситель, увеличивая таким образом их срок службы;
  - (г) забудьте об этом! Этанол никогда не добавляется к жидкостям-теплоносителям, потому что это делает смесь пожароопасной.

# Глава 5

## Экзотические методы управления климатом в доме

В этой главе рассмотрены не совсем привычные способы отопления и кондиционирования зданий. Устройства, описанные здесь, не играют приоритетной роли в системе домашнего климат-контроля, но с их помощью можно снять часть нагрузки с обычных систем.

### Непосредственное управление климатом с помощью ветряных силовых установок

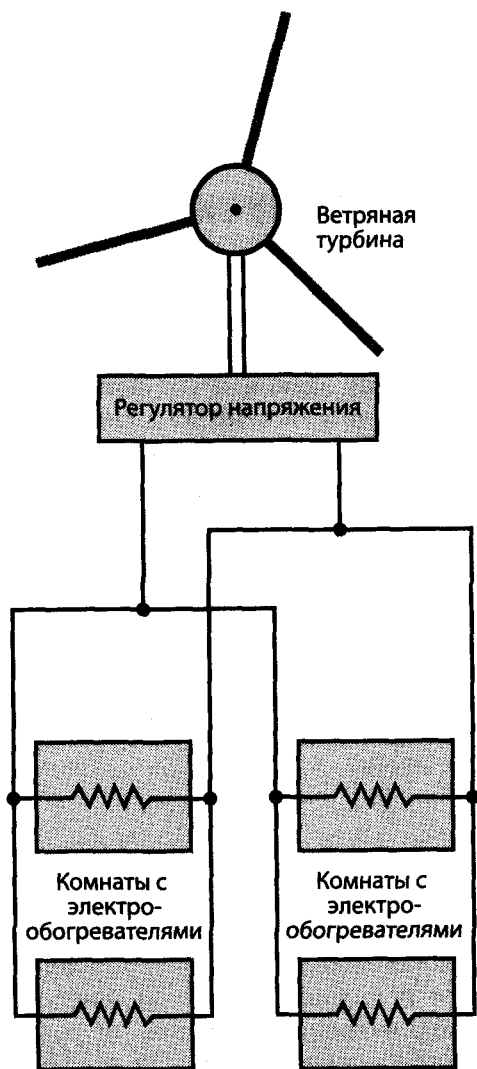
*Ветряную турбину* можно подсоединить к электрогенератору, а к нему подключить электрообогреватели. Если обеспечить при этом регулировку подаваемого на электрообогреватели напряжения, то с помощью такой ветряной установки можно получить дополнительное тепло для дома средних размеров при условии, что ветер будет дуть с достаточной скоростью.

#### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

На рисунке 5.1 приведена функциональная схема установки на основе ветряной турбины с электрогенератором, которая используется для питания электрообогревателей.

Выходное напряжение должно быть ограничено величиной 117 В переменного тока с помощью регулятора напряжения, чтобы ток, поступающий на нагревательные элементы, не превысил допустимую величину и электрообогреватели не вышли из строя.

Типичная ветряная турбина, сконструированная для применения в частном доме, при умеренном ветре может обеспечивать мощность 12 кВт в день. Это эквивалентно суммарной мощности восьми электрообогревателей, каждый из которых имеет мощность 1500 Вт. Напомню соотношение: 1 кВт = 3410 БТЕ/ч. Это означает, что ветряная турбина может произвести примерно  $3410 \times 12 = 40\,920$  БТЕ/ч (округлим до 40 000 БТЕ/ч).



**Рис. 5.1.** Дополнительная система обогрева дома, в которой используется ветряная турбина с регулятором напряжения, обеспечивающая питанием комплект обычных домашних электрообогревателей, объединенных в общую электрическую цепь

Газовая печь для небольших домов или домов среднего размера обеспечивает около 80 000 БТЕ/ч, работая с максимальной мощно-



стью. Таким образом, в очень холодный, но вместе с тем достаточно ветреный зимний день система, представленная на рис. 5.1, может теоретически выработать половину энергии, необходимой для обеспечения теплом маленького дома или дома среднего размера.

Функционирование систем, подобных той, что приведена на рис. 5.1, зависит от ветра. Большое количество энергии, требуемой для обогрева домов, невозможно запасти в аккумуляторах при стоимости, приемлемой для большинства домохозяев. В местностях, где ветры дуют редко, эта система не будет экономически эффективной и так никогда себя и не окупит. Однако в некоторых районах зимы холодные и вместе с тем ветреные. В таких районах применение систем, подобных приведенной на рис. 5.1, имеет хорошие перспективы.

В жаркий ветреный день система, работающая на ветре, может быть использована для обеспечения функционирования кондиционера или испарительной охлаждающей системы. Жаркие сухие ветра по иронии судьбы возникают в тех же местностях, где и очень холодные снежные бури. Но если погода жаркая и безветренная, то для охлаждения дома нужно применять другие источники энергии.

Использование энергии ветра будет описано более детально в этой книге далее. Сейчас стоит отметить только, что ветер вполне можно использовать для дополнительного или временного обеспечения электрической энергией домашних электроприборов, но он не может стать постоянным высокопроизводительным источником энергии. При правильном применении ветровая энергия может значительно сократить людям зависимость от ископаемого топлива. Для идеалистов это хорошая новость. Но было бы непредусмотрительно отключить или демонтировать существующую печь на газе, пропане или солярке, предпочтя ей систему, подобную той, которая показана на рис. 5.1.

### **ПРЕИМУЩЕСТВА НЕПОСРЕДСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТОМ С ПОМОЩЬЮ ВЕТРЯНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК**

- Они могут существенно уменьшить (но не исключить) применение обычных методов отопления дома.
- Они будут полезны в тех ситуациях, когда в доме требуется тепло, а обычная система отопления не может работать из-за отсутствия напряжения в сети.
- Они не создают загрязнений. Они не выделяют парниковые газы, загрязняющие частицы, окись углерода, не загрязняют почву, от них нет мусора.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Электричество, производимое ветряными турбинами, может быть использовано для других периодически возникающих домашних нужд, таких как зарядка автомобильных аккумуляторов или ноутбуков. Когда тепло не требуется, электричество, производимое ветряными установками, можно использовать для освещения дома или для того, чтобы обеспечить электропитание для разных домашних электроприборов, которые нечувствительны к внезапным падениям питающего напряжения.
- Ветряная турбина, если вы захотите, в дальнейшем может быть использована для одиночной ветряной энергетической установки или включена в ветряной парк. Об этом будет рассказано далее в нашей книге.

### **НЕДОСТАТКИ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТОМ С ПОМОЩЬЮ ВЕТРЯНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК**

- Ветёр — это нестабильный источник энергии. Когда скорость ветра становится менее нескольких миль в час, системы непосредственного управления климатом с помощью ветряных силовых установок не будут работать. Поэтому системы этого типа непрактично применять в местностях, где средняя скорость ветра небольшая.
- Ветряные турбины также не будут нормально работать, если ветер слишком сильный.
- Маленькие ветряные турбины могут быть повалены и сломаны во время сильной грозы, урагана или снегопада.
- Системы, подобные описанной здесь, окупаются долго, а могут и вообще не окупиться. Ветряные турбины дороги. Мотивация их применения должна обуславливаться идеей минимизации расходов.
- Некоторым людям может не понравиться появление ветряных турбин в районе, где они живут. Кроме того, при вращении ветряные турбины создают определенный шум. Поэтому ветряки редко встречаются в городах или в пригородах.

#### **Задача 5.1**

Будет ли обычная старинная мельница работать как ветряная турбина? Когда я езжу по сельской местности, они мне иногда встречаются. Некоторые из них выглядят вполне работоспособными.



### Решение 5.1

Некоторые люди адаптируют для производства электричества традиционные ветряные мельницы, использовавшиеся на фермах в минувшие времена. Их прежней функцией было, к примеру, накачивать воду из колодца. Но и для любого другого применения, когда временное падение напряжения допустимо и когда не нужен постоянный источник энергии, ветряная мельница также может использоваться. При этом она подсоединяется к электрогенератору и регулятору напряжения и в результате оказывается пригодной, например, для обеспечения дома теплом. Правда, старые ветряные мельницы не столь эффективны, как современные ветряные турбины.

## Непосредственное управление климатом с помощью гидроэлектрических установок

К *водяной турбине* можно подсоединить электрогенератор, к которому, в свою очередь, можно подключить электрообогреватели или кондиционеры. При достаточно интенсивном потоке воды и правильной регулировке напряжения таким способом можно обеспечить насущные нужды дома в обогреве и охлаждении.

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

На рисунке 5.2 приведена функциональная схема небольшой установки, использующей энергию воды и адаптированной для домашней электрической системы отопления на электрообогревателях. Это, по сути, то же, что и ветряная силовая установка, функциональная схема которой приведена на рис. 5.1, но только здесь ветряная турбина заменена водяной турбиной. Так же как и в ветряной установке выходное напряжение должно быть ограничено величиной 117 В переменного тока с помощью регулятора напряжения. Такая система может также использоваться в качестве источника питания кондиционеров.

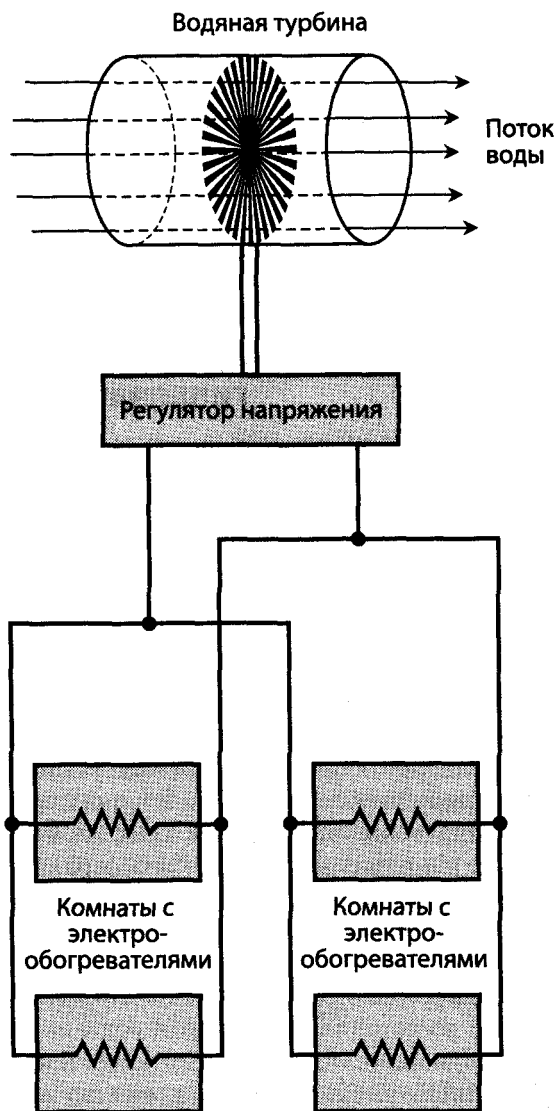
Хорошая водяная турбина, установленная в быстром ручье или в маленькой речке с достаточным перепадом воды по течению, может надежно обеспечить мощность, равную 20 кВт. Еще раз напомним, что 1 кВт = 3410 БТЕ/ч. Поэтому установка на водяной турбине может вырабатывать примерно  $3410 \times 20 = 68\,200$  БТЕ/ч (давайте округлим до 70 000 БТЕ/ч). Этого как раз достаточно, чтобы поддерживать в доме средних размеров комфортную температуру в лю-





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

бую погоду, если, конечно, ручей или речка не пересохнут и не замерзнут.



**Рис. 5.2.** Система обогрева дома, в которой используется водяная турбина с регулятором напряжения, обеспечивающая питанием комплект обычных домашних электрообогревателей, объединенных в общую электрическую цепь



### ПРЕИМУЩЕСТВА ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

- Непосредственное питание систем отопления и кондиционирования от гидроэлектрической установки может существенно сократить или даже совсем исключить потребность в обычных методах отопления и кондиционирования.
- Поток воды, в отличие от ветра, существует постоянно, если ручей или речка достаточно большие и быстрые.
- В то время как из-за падения напряжения в сети обычные системы управления климатом в доме выключатся, системы управления климатом с питанием от гидроэлектрических установок будут продолжать функционировать.
- Эта технология фактически не сопряжена с загрязнениями. Тут не выделяются парниковые газы, твердые микрочастицы, окись углерода, не загрязняется почва, нет мусора. Небольшое количество тепла передается воде ручья в результате трения лопастей турбины о воду, но оно ничтожно в системах малой мощности.
- Электричество, производимое водяными турбинами, может быть использовано для различных целей в доме теми же способами, как это делается в системах с ветряными турбинами, но на более надежной основе.
- Водяная турбина, если вы захотите, в дальнейшем может быть модифицирована, чтобы использоваться как одиночная энергетическая установка или гидроэлектрическая станция, которая будет описана далее в этой книге.

### НЕДОСТАТКИ ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

- Слишком мало счастливицков, живущих рядом с рекой или ручьем, имеющими достаточно интенсивное течение, чтобы обеспечить значительную гидроэлектрическую мощность.
- Небольшой ручей может периодически пересыхать во время длительной засухи или промерзать до самого дна в слишком сильную стужу. При этом, очевидно, турбина не будет работать.
- Водяной турбине нужна значительная масса воды, а также значительный перепад уровня воды по течению реки для того, чтобы вырабатывать мощность, достаточную для обогрева дома. Для этого может понадобиться сооружение небольшой плотины, что, возможно, будет сопровождаться изменениями в окружающей среде.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Системы, подобные описанной здесь, окупаются долго, а могут и вообще не окупиться. Эти гидроэлектрические системы сравнимы по стоимости с ветряными силовыми установками, обеспечивающими ту же полезную мощность.

### Задача 5.2

На моем участке течет ручей шириной примерно 10 м и глубиной в середине 2 м. Он имеет достаточно быстрое течение и даже зимой замерзает только сверху, а подо льдом продолжает течь достаточно быстро. Участок находится рядом с домом. Перепад уровня воды по течению от места, где ручей попадает на участок, до места, где он вытекает, составляет всего 0,5 м (примерно 18 дюймов). Можно ли на этом ручье построить гидроэлектрическую установку с мощностью, достаточной, чтобы обогреть мой дом?

### Решение 5.2

Вы должны пригласить инженера, чтобы произвести расчеты для вашей ситуации, но похоже на то, что ваш ручей не сможет обеспечить достаточную мощность для системы обогрева дома. В вашем случае водяная турбина, установленная в таком ручье, сможет надежно производить несколько ватт электроэнергии, что достаточно только для обеспечения питанием небольших электроприборов.

## Непосредственное управление климатом с помощью фотоэлементов

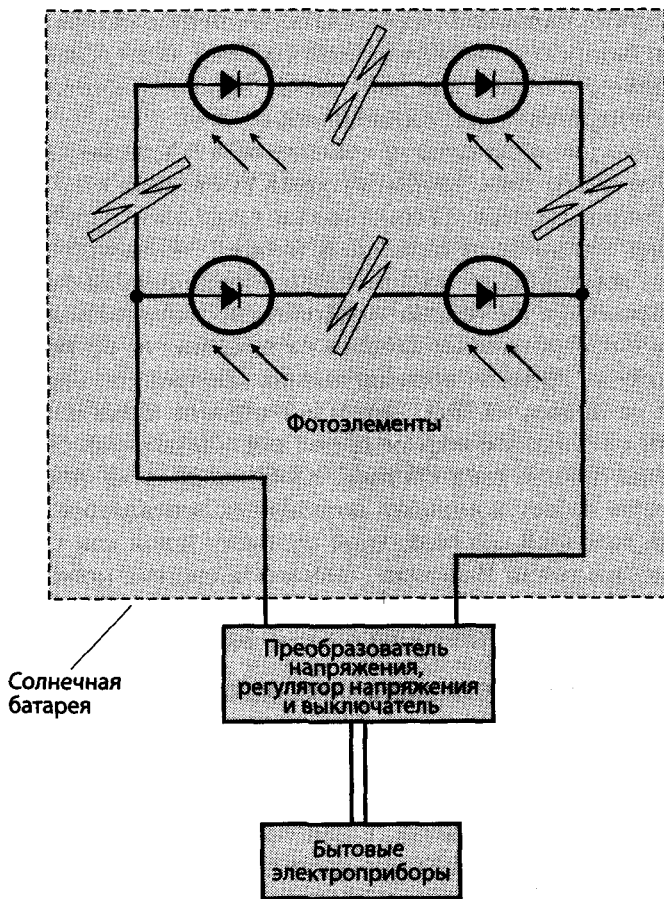
Решетка из *фотоэлементов* (ФЭ) обычно используется вместе с накопительными аккумуляторами, а еще в качестве дополнения к основной электрической сети. Но такие решетки, называемые *солнечными батареями*, могут использоваться и в системах без аккумуляторов, если потребитель готов смириться с тем, что система не будет работать, когда солнечного света недостаточно.

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

На рисунке 5.3 показана упрощенная схема системы непосредственного управления климатом с помощью фотоэлементов (ФЭ), пригодной для применения в доме. При ярком солнечном свете одиночные *кремниевые ФЭ* вырабатывают постоянное напряжение величиной примерно 0,5 В. Они объединены в многокомпонентную последовательно-параллельную решетку, которая обеспечивает на



выходе постоянное напряжение 12 В или 24 В при достаточно большом токе, возникающем при воздействии на ФЭ прямого солнечного света. Решетка такого типа называется *солнечной батареей*.



**Рис. 5.3.** Дополнительная система климат-контроля дома на основе солнечной батареи с преобразователем постоянного напряжения в переменное, регулятором напряжения и выключателем. Она обеспечивает питание бытовым электроприборам малой мощности, таким как вентилятор или увлажнитель воздуха

Выходной сигнал от солнечной батареи поступает к *преобразователю постоянного напряжения в переменное*, преобразующему постоянное выходное напряжение солнечной батареи в переменное



напряжение 117 В, от которого может питаться обычная домашняя бытовая техника. Кроме того, в схеме может использоваться *регулятор напряжения*, чтобы обеспечить необходимое постоянство напряжения при изменении интенсивности солнечного света. В схеме присутствует также *автоматический выключатель*, который отключает солнечную батарею и выключает всю систему, если освещение становится слишком слабым, для того чтобы хорошо работали домашние бытовые электроприборы, питающиеся от нее.

Электрические обогреватели помещений и кондиционеры потребляют слишком много тока, чтобы им хватило питания от солнечных батарей разумного размера. (Теоретически такие электроприборы можно обеспечивать питанием от солнечных батарей, но выгоду можно получить редко; хорошо, если вообще удастся когда-нибудь окупить расходы.) Электрические напольные и потолочные вентиляторы, увлажнители воздуха и испарительные системы охлаждения не потребляют много тока, поэтому их время от времени можно снабжать питанием непосредственно от установок на ФЭ. Летом в местности, подобной, например, южной Аризоне, в самое жаркое время дня обычно ярко светит солнце. В местностях такого типа система, изображенная на рис. 5.3, могла бы обеспечить работу комплекта потолочных вентиляторов в доме или в офисе. В холодной, но солнечной пустыне, такой как Северная Невада или центральный Вайоминг, описанная система может обеспечить работу увлажнителя воздуха в помещениях для того, чтобы улучшить качество воздуха, который зимой обычно бывает слишком сухим.

### ПРЕИМУЩЕСТВА НЕПОСРЕДСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТОМ С ПОМОЩЬЮ ФЭ

- Системы непосредственного управления климатом на ФЭ не требуют аккумуляторов и никаких сложных подключений к электрической сети. Это минимизирует стоимость.
- Так как система простая, в ней особенно нечему ломаться при условии, что установка хорошего качества и с ней бережно обращаются — так, чтобы не повредить солнечные батареи.
- Системы этого типа практически не нуждаются в обслуживании. Их нужно установить и запустить, а потом лучше всего оставить в покое.
- Системы непосредственного управления климатом на ФЭ позже могут быть дооснащены для того, чтобы использоваться как одиночная энергетическая установка на ФЭ (включающая накопительные аккумуляторы) или стать частью силовой станции на ФЭ (объединенной с обычной электрической сетью).



### НЕДОСТАТКИ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТОМ С ПОМОЩЬЮ ФЭ

- Система непосредственного управления климатом на ФЭ может работать только при хорошей освещенности. Это означает, что погода должна быть солнечной или хотя бы не слишком облачной, чтобы было достаточно солнечного света.
- Система не будет работать, если освещенность недостаточна, даже если день жаркий, и, естественно, не будет работать жарким вечером и ночью.
- Град или сильный ветер могут мгновенно разрушить солнечные батареи.
- Если на солнечные батареи нападает снег, то его надо будет убрать вручную, чтобы система смогла заработать.
- Нужно иметь в виду, что ток, потребляемый от системы бытовой техникой, должен быть существенно меньше, чем максимально возможный выходной ток системы. Если выходной ток мгновенно упадет (так может случиться, если облако на какое-то время закроет солнце), то выключатель отключит систему на это время, если она работает при максимальной нагрузке.

#### Задача 5.3

У меня большой участок, и я могу разместить много солнечных батарей практически неограниченного размера. Расходы не играют роли! Могу я обеспечить работу кондиционера или электрического обогревателя помещений, используя схему непосредственного управления климатом, представленную на рис. 5.3, если я установлю много решеток на ФЭ на своем участке?

#### Решение 5.3

Да. Но если вы не стеснены в средствах, то вы могли бы установить гибридную систему, в которой используется как солнечная энергия, так и энергия ветра. Небольшие энергетические установки, а также энергетические станции на солнечных батареях и ветряных турбинах описаны далее в этой книге.

### Охлаждение с помощью теплоаккумулирующих масс

Тепловая инерция, которая позволяет плотным твердым веществам, таким как бетон, кирпич и камень, удерживать тепло в доме, может в то же время использоваться для того, чтобы охлаждать жи-

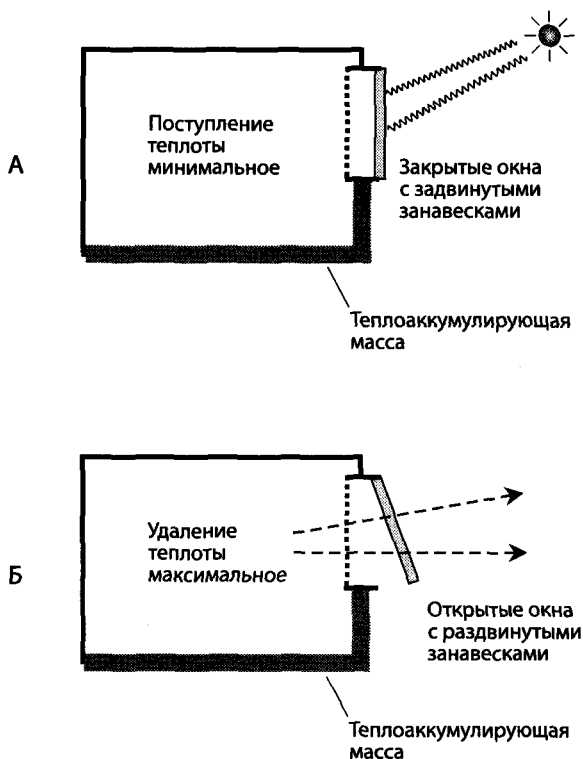


## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

лое пространство. Это делается в районах, где летняя жара создает больше проблем, чем зимний холод.

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

На рисунке 5.4 представлено поперечное сечение комнаты, находящейся на первом этаже дома, в которой используется теплоаккумулирующая масса для охлаждения. Теплоаккумулирующая масса находится под полом и на внешней стене. Между теплоаккумулирующей массой под полом и землей нет термоизоляции, так что тепловая энергия благодаря теплопроводности может передаваться земле. Внешние стены покрашены в белый цвет или покрыты сайдингом белого цвета, чтобы минимизировать поглощение ими солнечного тепла.



**Рис. 5.4.** Теплоаккумулирующие массы наружных стен и пола могут способствовать охлаждению. В дневное время (А) теплоаккумулирующая масса поглощает тепловую энергию из воздуха в комнате. Ночью (Б) тепловая энергия удаляется из комнаты через окно



Если комната, показанная на рис. 5.4, расположена так, что в ее окно регулярно светит солнце, это окно может быть закрыто в дневное время (А) и открыто ночью (Б). При этом горячий внешний воздух не сможет попасть внутрь дома в дневные часы, а ночью теплый воздух из дома уйдет на улицу. Шторы и жалюзи можно закрыть, когда солнце светит в окно комнаты. А когда солнечные лучи уже не направлены прямо в окно, шторы и жалюзи можно открыть. Если окно комнаты выходит на север (а в южном полушарии — на юг), шторы и жалюзи играют менее важную роль, хотя их, может быть, стоит закрывать ранним утром и к концу дня летом, когда солнечный свет может попадать в окна.

Тепловая масса на внешней стене слишком инерционна, вследствие чего медленно отдает тепло днем и медленно охлаждает комнату ночью. Поэтому температура в комнате держится около некоторого среднего уровня в течение суточного цикла. В пустыне, где разница между дневной и предзакатной температурами может достигать 25 °C (45 °F), этот средний уровень значительно ниже максимума дневной температуры. Человек, который любит кондиционирование на уровне морозильной камеры, может чувствовать себя в летнюю жару не слишком комфортно при описанном здесь способе кондиционирования, но так все же можно обеспечить лучшие условия, чем те, которые будут в щитовом доме вообще без кондиционера. (И еще аргумент — это здоровее, чем дышать воздухом, пересушенным кондиционером и к тому же сильно контрастирующим по температуре с воздухом на улице.)

Идеальная геометрия для организации кондиционирования способом, показанным на рис. 5.4, — это дом на склоне холма, который обращен в направлении, откуда солнце светит меньше всего. Для северного полушария это означает дом, построенный на северном склоне.

### **ПРЕИМУЩЕСТВА ОХЛАЖДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАСС**

- Правильная установка теплоаккумулирующей массы и правильное использование окон, штор и жалюзи могут защитить дом от большой жары независимо от того, насколько жаркой будет погода на улице.
- Использование теплоаккумулирующей массы для охлаждения значительно дешевле, чем использование обычных кондицио-





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

неров в пересчете на ежедневное применение. Первоначальные расходы на установку тепловой массы могут окупиться в течение нескольких лет.

- В период долгой жары дом с большой теплоаккумулирующей массой тепло будет наполнять медленнее, чем с маленькой.
- Если вы предусмотрели установку теплоаккумулирующей массы в новом доме, то он будет лучше противостоять северной погоде, особенно сильным ветрам.
- Дом, построенный с использованием большого количества бетона, камня или кирпича, более пожароустойчив, чем обычный щитовой дом.

### **НЕДОСТАТКИ ОХЛАЖДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАСС**

- Стоимость строительства нового дома с большой тепловой массой может оказаться высокой.
- Реконструкция обычного дома с добавлением тепловой массы может быть сложной и дорогой, и если она сделана неправильно, то может стать потенциально опасной.
- По мнению некоторых людей, теплоаккумулирующие материалы выглядят непривлекательно, независимо от того, как они декорированы (хотя другим такой интерьер нравится).
- В доме, построенном на северном склоне холма, с малым количеством окон или вообще без них, естественное дневное освещение будет ограничено, что может стать проблемой для некоторых людей.

### **Задача 5.4**

Если дом снаружи покрашен в белый цвет или покрыт белым сайдингом, будет ли это препятствовать излучению тепла от дома ночью, уменьшая таким образом эффективность теплоаккумулирующей массы во внешних стенах? Существует ли какое-либо решение этой проблемы?

### **Решение 5.4**

Белая внешняя поверхность дома действительно препятствует излучению тепла ночью. Но что еще хуже — при такой поверхности дома также замедляется поглощение тепла, когда солнце светит на нее. В самую жаркую часть года в умеренных широтах светлое время



суток продолжительнее темного. Возможно, кто-то изобретет краску, которая обычно имеет темный или черный цвет, но становится белой при освещении солнечным светом. Если покрасить такой краской непосредственно освещенную внешнюю поверхность теплоаккумулирующей массы, которая формирует внешнюю стену, это могло бы усилить излучение тепла от дома ночью, в то же время днем ограничивая поглощение тепла!

### Испарительное охлаждение

Процесс превращения воды из жидкого состояния в газообразное сопровождается поглощением тепловой энергии, как вы уже прочитали в этой книге. Для этого необязательно доводить воду до активного кипения. Эффект имеет место при любой температуре до тех пор, пока вода остается жидкой, и этот диапазон температур значительно больше области температур, комфортных для человека. Таким образом, при ускорении процесса испарения вода будет поглощать тепло из воздуха. На этом основан принцип *испарительного охлаждения*.

#### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

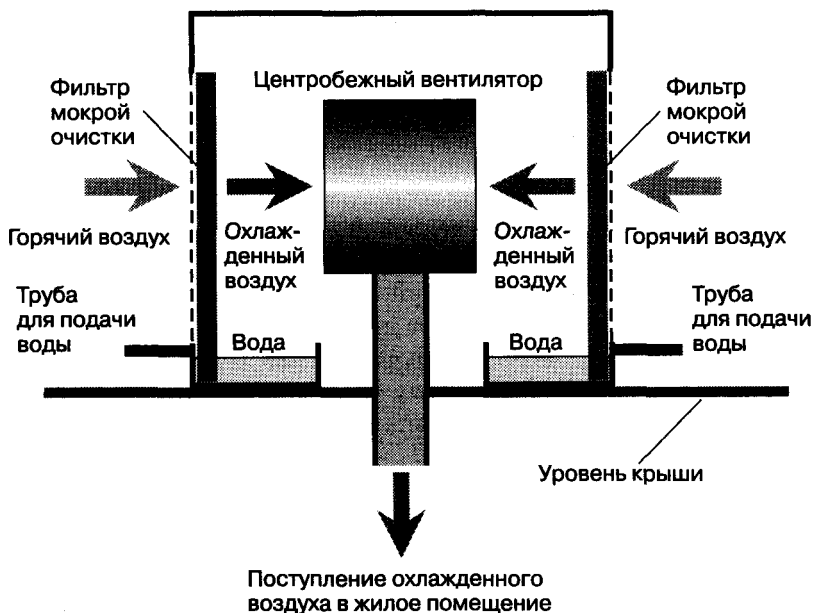
Если горячий сухой воздух проходит через пропитанный водой пенопластовый или волокнистый *фильтр* толщиной несколько миллиметров, часть воды испаряется. В результате воздух, проходя через фильтр, охлаждается на несколько градусов. Вода для фильтра постоянно поступает из резервуаров, которые все время пополняются свежей (в идеале — дистиллированной) жидкой водой.

На рисунке 5.5 представлена упрощенная функциональная схема испарительной системы охлаждения, сконструированной для установки на плоской крыше. Конструктивно система выполнена в виде куба с размерами стороны примерно 1 м. Вода из резервуара постоянно поглощается фильтрами; поглощение обеспечивается благодаря *капиллярному эффекту*. Вода удерживается на постоянном уровне с помощью поплавкового устройства, подобного тому, которое имеется в бачках унитазов. С помощью большого *центробежного вентилятора* горячий воздух затягивается извне и проходит через фильтры. Он заставляет часть воды испариться, поэтому, пройдя через фильтры, воздух становится холоднее, чем наружный. Охлажденный и немного увлажненный воздух втягивается в жилое пространство через единственное входное вентиляционное отверстие в центре потолка комнаты, выбранной для охлаждения. В комнате устанавливаются конвективные потоки: холодный воздух опускается



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

вниз в центре комнаты и движется по радиальным направлениям от центра к стенам вдоль пола. Воздух выходит из комнаты через вентиляционные отверстия, расположенные на стенах у самого пола.



**Рис. 5.5.** Упрощенная функциональная схема испарительной системы охлаждения, установленной на крыше. Система такого типа лучше всего работает в сухом жарком климате

Результатом является постоянное обеспечение свежим прохладным воздухом жилого пространства (предполагается, что внешний воздух не загрязнен).

Система, показанная на рис. 5.5, действует наиболее эффективно в одноэтажных домах, и самое лучшее — использовать ее для комнаты, в которой чаще всего собирается большинство домочадцев. Воздух, выходящий из испарительной системы охлаждения, может быть втянут в систему воздуховодов и распространен по многим комнатам. Но это уменьшает эффективность охлаждения, потому что в воздуховодах он может снова нагреться.

Испарительная система охлаждения работает лучше всего, когда воздух очень горячий и сухой. Но она будет неплохо работать и в том случае, если внешняя температура только слегка превышает



комфортный уровень. Хуже всего получится, если внешний воздух влажный. При высокой влажности испарение происходит менее интенсивно, чем при низкой. Испарительные системы охлаждения наиболее популярны в районах с климатом жаркой пустыни, таких как Южная Калифорния, Аризона и Нью-Мехико. Эти системы также широко используются в жарких местностях Австралии.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

- Система испарительного охлаждения потребляет около 20% электроэнергии, необходимой обычному кондиционеру, чтобы обеспечить ту же степень охлаждения. Единственный заметный ток потребляется вентилятором. Со временем обнаруживается существенная экономия денег благодаря меньшим счетам за электричество.
- Испарительные системы потребляют минимальную электроэнергию, поэтому электростанции, снабжающие их электричеством, не выделяют много парниковых газов и других загрязнений.
- Системы испарительного охлаждения проще, чем холодильники-рефрижераторы. Это значит, что в них меньше того, что может выйти из строя! А если что-то сломается, то стоимость ремонта обычно невысока.
- В системах испарительного охлаждения не используются соединения, разрушающие озоновый слой, которые применяются в холодильниках-рефрижераторах некоторых старых моделей.
- Внешний свежий воздух постоянно подается к жилой зоне. Это исключает духоту, которая иногда возникает из-за рециркуляции воздуха при использовании системы кондиционирования обычного типа.
- Фильтры помогают избавиться от пыли и загрязняющих частиц, находящихся в воздухе с улицы.
- Испарительные системы не создают чрезмерно сильного охлаждения, в то время как обычные кондиционеры могут охладить воздух в помещении до температуры морозильной камеры, так что человек, входящий в комнату, «натыкается» на стену холодного воздуха.
- Системы испарительного охлаждения обеспечивают увлажнение воздуха в местностях с климатом жарких пустынь. Это может облегчить дискомфорт, связанный с чрезмерно низкой влажностью. В то же время обычные системы только еще больше снижают содержание влаги в воздухе.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### НЕДОСТАТКИ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

- Системы испарительного охлаждения не будут хорошо работать, если влажность слишком высокая, потому что внешний воздух, поступающий в систему, находится вблизи точки насыщения поглощения и не может поглотить много влаги из фильтров.
- В большом доме, в котором имеется много помещений, одна система испарительного охлаждения может обслуживать только одну комнату. Если установить для каждого помещения свою отдельную испарительную систему, а также сделать систему хорошо термоизолированных воздухопроводов, то можно обеспечить определенный уровень охлаждения воздуха в большом доме, но это увеличит стоимость и усложнит систему.
- Испарительная система может не обеспечить охлаждение воздуха до комфортных условий, если внешняя температура станет чрезмерно высокой, как случается в местностях, подобных пустыням в Южной Калифорнии в летнее время.
- Если в системе испарительного охлаждения произойдет утечка воды, то может быть повреждена крыша дома и потолок, если на крыше не предусмотрен дренаж.
- Фильтр нужно периодически прочищать и менять. Если на улице много пыли и других загрязняющих частиц, это обслуживание должно проводиться часто.

#### Задача 5.5

Мой дом имеет крышу с крутыми скатами. Как я могу установить испарительную систему охлаждения в этом случае?

#### Решение 5.5

Можно построить на крыше поддерживающую конструкцию с горизонтальной платформой, на которой будет установлена охлаждающая система. Платформа может быть помещена на коньке крыши. Прямой воздухопровод может быть установлен под вентилятором, чтобы позволить воздуху проходить в жилое пространство через чердак. Конструкция платформы должна быть прочной, так как она должна выдерживать вес охлаждающей системы и воды, содержащейся в ней, чтобы даже сильный ветер не мог ее сбросить с крыши. Воздуховод должен быть термоизолирован, чтобы охлажденный воздух не нагревался снова, когда он проходит через чердак.



### Подземные жилища

Максимальная термоизоляция от тепла и холода достигается при помещении жилища под землю. При этом можно сделать так, чтобы потолок верхнего этажа был расположен на уровне поверхности земли. Тогда крыша может выполнять также функции двора или дороги. *Подземные жилища* могут быть построены также в сооружениях, размещенных глубоко под поверхностью земли, таких как заброшенные угольные шахты или ракетные стартовые шахты.

#### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Температура под поверхностью земли остается практически постоянной, если опуститься на определенную глубину (несколько метров). Эта закономерность соблюдается даже в тех местностях, где разница между максимальной и минимальной температурами над поверхностью земли в течение года может достигнуть 70 °C (126 °F). В большинстве районов в средних широтах температура на глубине нескольких метров составляет 10 °C (50 °F). На большей глубине можно обнаружить существенно более высокие температуры.

Подземные дома должны быть построены из бетона и стали, что позволит им противостоять огромным давлениям, которые имеются даже на средней глубине. Конечно, здесь не будет окон, выходящих прямо на улицу, хотя «перископические окна» могут быть установлены. Потребуется комплексная вентиляционная система, и должны быть использованы определенные способы, чтобы обеспечить постоянный приток воздуха. Постройка должна быть ударопрочной, чтобы вибрации земли, которые могут быть вызваны автомобильным движением или другой деятельностью на земле, не передавались жилую пространство.

Так же как и другие типы домов, подземные жилища «работают» лучше в одних местах, чем в других. Самые подходящие места для них там, где минимален риск землетрясений, нет или мало подземных пещер, речек или следов магмы (застывших потоков расплавленных камней, возникших во время извержения вулкана). Подземные жилища должны располагаться выше уровня грунтовых вод.

#### ПРЕИМУЩЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ЖИЛИЩ

- Подземные жилища могут исключить почти полностью расходы на отопление и охлаждение жилища.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Подземный дом защищен от непогоды. Даже торнадо не сможет принести какой-либо вред основной постройке, хотя размещенные наверху выходы вентиляционных систем, солнечные панели, ветряные турбины или другие периферические устройства могут быть разрушены.
- Подземные жилища могут быть построены в самых перенаселенных районах, даже в центрах больших городов. Это было реализовано, например, в одном из районов Токио, в Японии, в виде проекта, который называется «Геотрополис».
- В конструкции подземного дома легко обеспечить акустическую защиту, так что даже в городе дом может быть полностью звукоизолирован от шума внешнего мира. Здесь не будет слышно никаких сирен, лающих собак, шумных вечеринок и других раздражающих звуков с улицы.
- Подземные жилища могут обеспечить психологический комфорт для людей, которые боятся глобальных катастроф, таких как мировая ядерная война, если когда-либо, к несчастью, что-то подобное произойдет.

### НЕДОСТАТКИ ПОДЗЕМНЫХ ЖИЛИЩ

- Подземная постройка — это не лучшее решение для районов, где часто случаются землетрясения, если не предусмотрены массивная укрепленная конструкция и поглотители ударов.
- Подземные жилища не должны быть слишком длинными там, где есть медленные, но постоянные движения грунта. Эти явления встречаются чаще, чем предполагают большинство людей. Важно проверить историю места и тщательно исследовать существующие структуры почвы (особенно старые), чтобы определить безопасную зону для постройки дома.
- Подземные жилища могут вызвать клаустрофобию у чувствительных людей. Некоторые люди чувствуют себя дискомфортно под землей, даже если они там находятся всего несколько минут.
- Вы не будете иметь каких-либо прямых панорамных видов внешнего мира из подземного дома. Вы должны будете развесить большие хорошо освещенные картины и фотографии или использовать настенную живопись.
- В дом может проникать газ радон, если не используются вытяжная вентиляция и определенные строительные технологии.



## ГЛАВА 5 Экзотические методы управления климатом в доме

- Вентиляция важна в любом подземном жилище. В противном случае содержание кислорода в воздухе понизится из-за того, что обитатели дома вдыхают кислород, а выдыхают углекислый газ.
- Подземные жилища непрактичны в районах с высоким уровнем грунтовых вод. Жилище должно быть выше самого высокого уровня, который может быть достигнут грунтовыми водами в течение дождливого периода или периода таяния снега.

### Задача 5.6

Каким образом в подземном доме может быть получен в избытке естественный свет? Можно было бы использовать большие застекленные поверхности на крыше и зеркальные конструкции, но не будет ли это непрактичным и нарушающим термоизоляцию? Я строю подземный дом, но я волнуюсь по поводу возможного негативного влияния «солнечного голодания» на здоровье.

### Решение 5.6

Разработаны и выпускаются электрические лампы, имеющие спектр (распределение интенсивности излучения по длинам волн), подобный тому, которым обладает дневной свет. Эти лампы могут быть установлены в тех местах, где вам захочется, по всему дому. И конечно, можно проводить много времени вне дома, живя обычной жизнью, как и жители наземных домов, т. е. гулять, ходить на экскурсии, кататься на велосипеде, общаться с друзьями.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отвечая на эти вопросы, вы можете пользоваться текстом книги. Восемь правильных ответов — хороший результат. Ответы помещены в конце книги.

1. Какое из приведенных ниже утверждений, касающихся системы отопления дома с непосредственным питанием от гидроэлектрической установки, неправильно?
  - (а) вероятно, потребуется большое время для компенсации первоначальной стоимости непосредственной гидроэлектрической системы отопления дома;
  - (б) сравнительно мало людей могут воспользоваться преимуществами этой технологии, потому что рядом с их домом нет реки или ручья;





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- (в) если водяная турбина правильно сконструирована, эта система может функционировать, даже если река или ручей промерзнут до дна;
- (г) система этого типа не создает никаких парниковых газов или окиси углерода.
2. Какая из нижеследующих комбинаций технологий летнего охлаждения была бы самой дешевой, чтобы использоваться в жаркой пустыне?
- (а) обычный кондиционер, работающий от электрической сети;
- (б) дом на холме, фасад которого направлен на юг, а во внутренних стенах установлена тепловая масса;
- (в) испарительная охлаждающая система с питанием от солнечных батарей, включающая преобразователь напряжения;
- (г) тепловой насос «воздух—воздух» с питанием от электрической сети.
3. Регулятор напряжения в системе обогрева с питанием от ветряных установок:
- (а) выключает их, когда ветер не дует;
- (б) позволяет им работать, даже когда ветер не дует;
- (в) предотвращает поступление слишком большого тока в обогреватели;
- (г) удерживает ветряную турбину от слишком быстрого вращения.
4. Широко распространенное мнение о том, что замена обычных кондиционеров испарительными системами охлаждения привела бы к уменьшению загрязнения атмосферы парниковыми газами, верно, потому что:
- (а) испарительные системы охлаждения не используют охлаждающие смеси, которые способствуют разрушению озонового слоя земли;
- (б) испарительные системы охлаждения потребляют меньше энергии от мощных установок, многие из которых жгут ископаемое топливо и поэтому выделяют  $\text{CO}_2$ ;
- (в) испарительные системы охлаждения выделяют тепловую энергию в атмосферу, что приводит к увеличению скорости, с которой парниковые газы поглощаются или превращаются в другие опасные смеси;
- (г) забудьте про это! Загрязнение парниковыми газами могло бы увеличиться, если бы испарительные системы охлаждения



были использованы в большом масштабе для замены обычных кондиционеров.

5. При прямом солнечном освещении на выходе одиночного кремниевое ФЭ будет постоянное напряжение:
  - (а) ~0,5 В;
  - (б) ~1,5 В;
  - (в) ~12 В;
  - (г) ~24 В.
6. Для системы обогрева с непосредственным питанием от ветряных установок отсутствие резервной батареи или подключения к электрической сети:
  - (а) означает, что она не будет работать, когда не дует ветер;
  - (б) позволяет ей всегда обеспечивать питанием домашние электрообогреватели;
  - (в) означает, что она не поможет уменьшить счета за электроэнергию;
  - (г) заставит электрическую компанию обслуживать вас дополнительно, когда вы пользуетесь этой системой.
7. Если вы живете в подземном доме и торнадо проходит непосредственно над вашим участком, вы должны немедленно после урагана проверить следующее:
  - (а) не разрушена ли тепловая масса в стенах, полу или потолке;
  - (б) не разрушены ли внешние части воздухозаборников и выпускных отверстий;
  - (в) имели ли место движения земли;
  - (г) забудьте обо всем! Вам не нужно испытывать ни малейшего беспокойства о последствиях торнадо, если вы живете в подземном доме.
8. Солнечные батареи разумных размеров вместе с преобразователями напряжения не могут обеспечить питанием домашние обогреватели резистивного типа, потому что:
  - (а) преобразователи напряжения не могут обеспечить достаточное напряжение;
  - (б) солнечные батареи вырабатывают нерегулируемое напряжение;
  - (в) солнечные батареи вырабатывают слишком большое напряжение;
  - (г) солнечные батареи разумных размеров не могут обеспечить достаточный ток.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

9. Заполните пробел так, чтобы сделать следующее утверждение правильным: «Дом на холме с внешними тепловыми массами, в котором обеспечивалось бы оптимальное охлаждение летом в пустыне южного полушария, должен быть расположен на \_\_\_\_\_ склоне».
- (а) северном;
  - (б) южном;
  - (в) восточном;
  - (г) западном.
10. Устройство, которое преобразует постоянное напряжение на выходе солнечных батарей в стандартное переменное напряжение, называется:
- (а) резервный генератор;
  - (б) преобразователь напряжения;
  - (в) последовательно-параллельная решетка;
  - (г) регулятор напряжения.

# Глава 6

## Двигатели на традиционном топливе

В этой главе рассматриваются *двигатели на традиционном топливе*: бензине, дизельном топливе, топливе реактивных самолетов и ракетном топливе. При использовании любого из этих видов топлива работа двигателей обеспечивается благодаря его *сгоранию*, фактически представляющему собой управляемый взрыв, в процессе которого химическая энергия топлива преобразуется в *кинетическую энергию* с образованием различных химических соединений (продуктов сгорания). Транспорт, работающий на бензиновом и дизельном топливе, иногда называют *транспортом на ископаемом топливе*.

### Транспортные средства с бензиновым двигателем

Двигатели автомобилей, грузовиков, тепловозов, судов, винтовых самолетов и других транспортных средств, «сжигающих» бензин в двигателях с *искровым зажиганием*, называют *двигателями внутреннего сгорания (ДВС)*.

#### ЧТО ТАКОЕ БЕНЗИН?

Бензин — это горючее вещество с характерным запахом, которое состоит в основном из соединений, называемых *углеводородами*. Мы уже приводили несколько примеров таких соединений: метан, пропан и горючие масла (солярка). Бензин является их «химическим родственником». В теоретически идеальных машинах один литр бензина мог бы произвести примерно  $3,48 \times 10^7$  Дж тепловой (кинетической) энергии. При полном сгорании одного галлона бензина выделяется примерно  $1,25 \times 10^5$  БТЕ теплоты.

Бензин — чрезвычайно *летучее* вещество; он легко переходит из жидкого состояния в газообразное уже при комнатной температуре, а с ростом температуры это происходит еще быстрее. Учитывая это свойство бензина, для различных географических регионов и для разных сезонов производят различные его сорта. Обычно более ле-



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

тучий бензин используется зимой и в холодных местностях, а менее летучий — летом и в теплых регионах.

Бензин получают на нефтяных очистительных установках, где из нефти, помимо бензина, выделяются также и другие нефтепродукты. Составные части бензина — *алканы, алкены и циклалкены*, они содержатся в пропорциях, которые зависят от состава сырой нефти и степени ее очистки. В случае самой высокой степени очистки в бензине содержится максимальное количество *октана* — углеводорода, который благодаря хорошим антидетонационным свойствам помогает предотвратить *стук в двигателе*. Эта проблема может возникнуть, если бензин в ДВС слишком быстро воспламеняется.

Некоторые из марок бензина содержат около 10% добавленного *этанола* (или *этилового спирта*), который получают из кукурузы или других видов зерна. Такой бензин называют *газохолом*. Это не то же самое, что *E85*, который содержит 85% этанола и только 15% бензина.

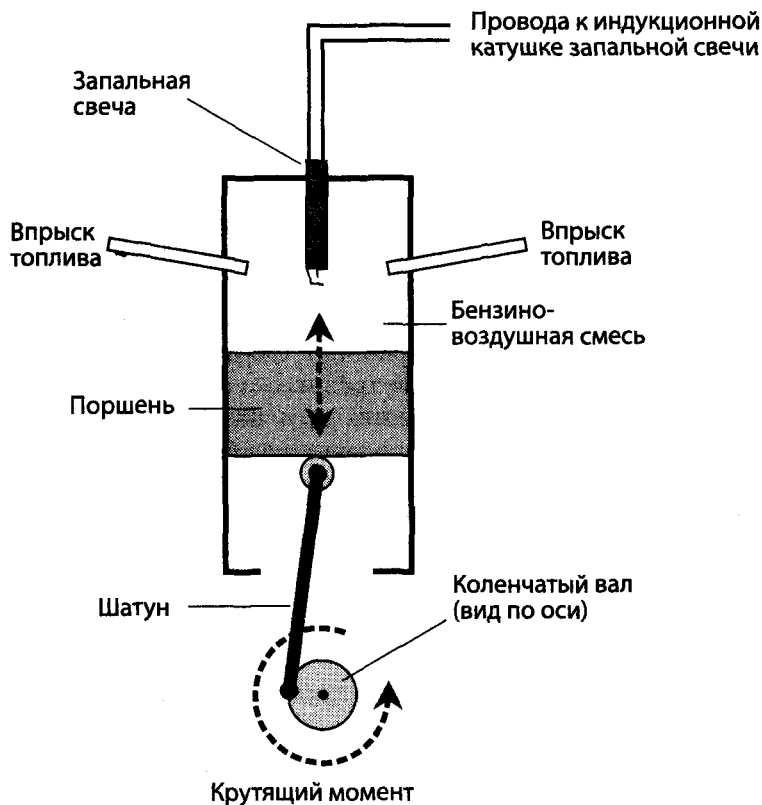
Кроме углеводородов, в бензине содержатся *присадки*, предназначенные для повышения эффективности горения. В середине XX века наиболее распространенной присадкой был *тетраэтилсвинец*. Когда стало известно, что он токсичен для человека и животных и имеет свойство накапливаться в окружающей среде, были предприняты меры для запрета использования тетраэтилсвинца. В наши дни «топливо со свинцом» выходит из употребления. Другие присадки меняются от страны к стране, а также с эволюцией технологий и вводимого государственного регулирования.

### КАК РАБОТАЕТ БЕНЗИНОВЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Преимущества бензинового двигателя связаны с тем, что бензин является легковоспламеняющимся веществом, и это его свойство используется для того, чтобы обеспечить генерацию механической энергии. Основной принцип работы бензинового двигателя очень упрощенно иллюстрируется функциональной схемой, представленной на рис. 6.1. Бензин смешивается с воздухом в *карбюраторе* так, чтобы образовался бензино-воздушный «туман» (смесь). Эта смесь впрыскивается в закрытый *цилиндр*, в котором находится подвижный *поршень*. Электрическая *искра* от *свечи зажигания* воспламеняет смесь, вызывая мини-взрыв, что приводит к сильному расширению продуктов сгорания в цилиндре, вследствие чего поршень опускается. Искра и вызванный ею мини-взрыв называются *зажиганием*. Поршень соединен с вращающимся *коленчатым валом* с помощью шатуна и подшипников. Конец шатуна, соединенный с поршнем, движется вниз



в результате опускания поршня, а другой конец шатуна, соединенный с коленчатым валом, заставляет его начать вращение. Узел шатун — коленчатый вал обладает *крутящим моментом*, поэтому даже после того, как цилиндр и шатун достигли нижней точки, вал продолжает вращение, увлекая за собой соединенный с ним конец шатуна, который в результате описывает полный оборот. При этом конец шатуна, соединенный с поршнем, толкает его вверх, в результате чего поршень поднимается в цилиндре обратно в верхнее положение. Каждое движение поршня вверх или вниз называется *такты*.



**Рис. 6.1.** Упрощенная функциональная схема одного цилиндра в бензиновом двигателе с искровым зажиганием

Когда поршень находится возле верхнего положения в каждом цикле возвратно-поступательного движения, снова бензино-воздушная



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

смесь впрыскиваются в цилиндр, и в этот самый момент очередная искра поджигает их. В *двухтактном* двигателе зажигание происходит каждый раз, когда поршень поднимается в верхнее положение, поэтому двум ходам поршня (вниз-вверх) соответствует одно зажигание. В *четырёхтактном* двигателе зажигание происходит через раз, так что одно зажигание соответствует четырем ходам поршня (вниз-вверх и снова вниз-вверх).

Если *впрыск* бензино-воздушной смеси и ее воспламенение происходят ритмично и если во времени повторяются согласованно все описанные действия, то коленчатый вал вращается с достаточным *крутящим моментом* для того, чтобы с помощью *редуктора* или *ременной передачи* заставить вращаться колесо, пропеллер, вал электрического генератора или другое вращающееся устройство. Согласованный временной цикл важен для того, чтобы двигатель работал с оптимальным *коэффициентом полезного действия*. В двигателях коэффициент полезного действия — это отношение реальной механической энергии на выходе к полной потенциальной энергии, полученной от сжигания топлива. Нарушение временного цикла уменьшает коэффициент полезного действия и может привести к возрастанию механического напряжения в деталях двигателя. А это, в конечном счете, может стать причиной его поломки.

Большинство двигателей внутреннего сгорания имеют более одного цилиндра. Такты чередуются друг за другом со сдвигом во времени, чтобы обеспечить более плавную работу двигателя, чем это происходит при использовании одного цилиндра. Поэтому созданы *двухцилиндровые, четырехцилиндровые, шестицилиндровые и восьмицилиндровые* двигатели. Вы можете услышать и о двигателях с более чем восемью цилиндрами. Вообще говоря, с увеличением числа цилиндров растет и механическая энергия, которую может вырабатывать двигатель внутреннего сгорания.

### ПРЕИМУЩЕСТВА БЕНЗИНА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

- Бензин имеет высокую *энергетическую плотность* (отношение энергии к массе). Другими словами, с помощью данного количества топлива можно получить много полезной работы. Мало других видов топлива, которые могут соперничать в этом отношении с бензином, вот почему он до сих пор широко используется.
- Бензиновые двигатели обладают большой мощностью в отношении к их объему и весу.



- Качественно изготовленные бензиновые двигатели мощны и надежны. Если за ними хорошо ухаживать, то они проработают десятилетия.
- Хорошо отлаженные и обслуживаемые бензиновые двигатели могут работать в широком диапазоне температур, уровней влажности и атмосферного давления, удовлетворяя почти всем климатическим условиям, встречающимся на нашей планете.

### **НЕДОСТАТКИ БЕНЗИНА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ**

- При сгорании бензина, даже полном, выделяется двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ) — известный парниковый газ.
- Если бензин не сгорает полностью (как это и происходит при работе реальных двигателей), выделяется некоторое количество окиси углерода ( $\text{CO}$ ). Этот газ смертельно опасен, если происходит его утечка в транспортное средство или бензиновый двигатель работает в закрытом помещении.
- Бензин пожароопасен, если он небрежно хранится или происходит его утечка.
- Бензиновые двигатели, которые используются, например, в лопастных вентиляторах или газонокосилках, могут производить раздражающий шум.
- Некоторые соединения, входящие в состав бензина, вызывают риск возникновения рака у людей и животных при непосредственном воздействии на них в течение длительного периода времени.
- Бензин получается путем переработки сырой нефти, цена которой может внезапно существенно измениться.
- Бензин получается из сырой нефти, которая относится к невозобновляемым источникам энергии.

#### **Задача 6.1**

Не исключает ли проблему загрязнения, вызванного бензиновыми двигателями, использование устройств контроля и регулирования выделения вредных газов?

#### **Решение 6.1**

Достигнутое благодаря новым технологиям и ограничительным законам снижение выделения вредных газов в значительной степени скомпенсировалось из-за увеличения количества бензиновых двигателей, особенно в быстроразвивающихся странах. Технология снижения вредных выбросов несовершенна; она не позволяет устранить все загрязняющие вещества, выделяемые бензиновыми двигателями.





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

Проблема с выделением  $\text{CO}_2$  на самом деле стала еще хуже за последние годы, и прогнозы на будущее неблагоприятны. Этот газ не токсичен, но он вносит вклад в глобальное потепление климата.

### Транспортные средства с дизельными двигателями

Обычное *дизельное топливо* применяется в тех же областях, что и бензиновое. Дизельные двигатели используются чаще, чем бензиновые, для больших грузовиков, локомотивов, сельскохозяйственных машин и для других тяжелых транспортных средств.

#### ЧТО ТАКОЕ ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО?

Дизельное топливо выделяется из нефти путем переработки (крекинг-процесс. — *Прим. ред.*). Оно представляет собой смесь углеводородов и в этом отношении похоже на бензин. Но дизельное топливо имеет более высокую энергетическую плотность, чем бензин. В идеальных двигателях литр дизельного топлива теоретически может производить кинетическую энергию<sup>1</sup>, примерно равную  $4,09 \times 10^7$  Дж. При сжигании один галлон дизельного топлива вырабатывает примерно  $1,47 \times 10^5$  БТЕ теплоты.

Благодаря большей энергетической плотности дизельного топлива в сравнении с бензином дизельный двигатель может обеспечить поездку на большее расстояние, чем бензиновый, при одинаковом объеме двигателей и при той же массе транспортного средства. Дизельное топливо также более плотное в физическом смысле. При одном и том же объеме дизельное топливо весит больше на 18%, чем бензиновое. Некоторые инженеры считают, что дизельное топливо больше похоже на солянку, чем на бензин.

Есть такие виды дизельного топлива, которые наряду с полученными из нефти углеводородами содержат также растительные масла и/или растворенные животные жиры. Доля *биологических масел* по отношению к нефтепродуктам может меняться в широком диапазоне. Дизельное топливо, полученное из биологических продуктов, получило название *биодизельное топливо* или *биодизель*. К преимуществам биодизельного топлива по сравнению с дизельным топливом из нефтепродуктов следует отнести меньшее выделение соединений серы при его употреблении — в биологических продуктах серы со-

---

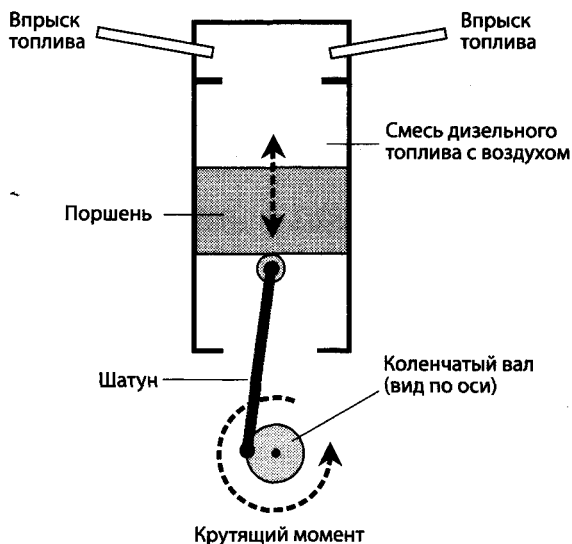
<sup>1</sup> Очевидно, автор имеет в виду кинетическую энергию молекул, которая при сгорании топлива соответствует его теплотворной способности. — *Прим. ред.*



держится меньше, чем в нефтепродуктах. Это преимущество может стать ощутимым в том случае, если биодизельное топливо будет широко использоваться, ведь выделение серы является причиной «кислотных дождей», которые разрушают экосистемы.

### КАК РАБОТАЕТ ДИЗЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Дизельный двигатель, так же как и бензиновый, является двигателем внутреннего сгорания, в котором благодаря сжатию и последующему воспламенению паров топлива генерируется механическая энергия<sup>2</sup>. Главное отличие состоит в том, что дизельный двигатель не имеет свечей зажигания и соответствующих электрических систем.



**Рис. 6.2.** Упрощенная функциональная схема одного цилиндра в дизельном двигателе. Отметим, что электрическая система отсутствует

На рисунке 6.2 представлена упрощенная функциональная схема цилиндра в дизельном двигателе. Процессы в нем практически идентичны тем, которые происходят в цилиндре бензинового двигателя. Только возгорание, а точнее, самовозгорание смеси происходит самопроизвольно вследствие того, что при движении поршня вверх

<sup>2</sup> Строго говоря, при сгорании топлива вначале выделяется тепловая энергия, которая потом трансформируется в механическую. — *Прим. ред.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

температура смеси топлива с воздухом из-за сжатия повышается, и смесь в конце концов самовозгорается. Важно подчеркнуть, что смесь топлива с воздухом должна впрыскиваться в цилиндр, когда поршень приближается к верхнему положению цикла возвратно-поступательного движения, а в момент достижения этого положения должно произойти сгорание смеси.

Так же как и в случае бензинового двигателя, важно соблюдение согласованности всех этих процессов во времени для того, чтобы обеспечить работу дизельного двигателя с оптимальным коэффициентом полезного действия и минимальным выбросом вредных веществ. Дизельный двигатель является многоцилиндровым, так же как и бензиновый. С увеличением числа цилиндров увеличивается производимая механическая энергия.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ДВИГАТЕЛЯХ

- Дизельное топливо более энергетически плотное, чем бензиновое.
- В некоторых местностях дизельное топливо дешевле бензинового.
- Для больших машин дизельное топливо предпочтительнее, потому что оно обеспечивает большую мощность (механическую энергию за единицу времени).
- Дизельные двигатели имеют больший коэффициент полезного действия, чем бензиновые того же рабочего объема.
- При сгорании дизельного топлива выделяется меньше окиси углерода CO, чем при сгорании того же количества бензина.
- Дизельные двигатели более надежны, чем бензиновые, потому что им не нужны электрические системы. Они проще, поэтому в них меньше того, что может выйти из строя!

### НЕДОСТАТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ДВИГАТЕЛЯХ

- В дизельном топливе содержится больше серы, чем в бензине, что приводит к выбросу большего количества двуокиси серы и других ее соединений.
- Дизельный двигатель тяжелее, чем бензиновый той же мощности.
- Выхлопные газы дизельного двигателя имеют неприятный для многих людей запах.
- Запустить дизельный двигатель и поддерживать его работу труднее, особенно в холодную погоду, когда дизельное топливо сгущается до гелеобразного состояния. Оно даже может кри-



сталлизоваться. Когда это случается, инжектор не может эффективно подавать топливо в цилиндры.

- Некоторые химические соединения в дизельном топливе увеличивают риск возникновения онкологических заболеваний у человека и животных, если непосредственно воздействуют на них в течение определенного периода времени.

### Задача 6.2

Как можно решить проблему загустения дизельного топлива в холодную погоду?

### Решение 6.2

В некоторых машинах предусмотрены электрообогреватели для деталей и частей, с которыми соприкасается дизельное топливо: трубок, фильтров, узлов двигателя, цилиндров. В качестве источника электричества во время движения машины можно использовать генератор переменного тока (с приводом от двигателя), а если машина стоит, то внешний источник электропитания.

## Традиционное топливо реактивных двигателей

Для небольших винтовых самолетов (частных и рейсовых самолетов местных авиалиний) в качестве топлива используется высокооктановый бензин. Но большинство самолетов гражданской и военной авиации являются реактивными и работают на соответствующем топливе различных сортов. Есть также самолеты, в которых используется *турбовинтовой двигатель*<sup>3</sup>.

Реактивные и турбовинтовые самолеты заправляются смесью высокооктанового бензина и реактивного топлива<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Под винтовыми двигателями автор, очевидно, понимает самолет с поршневым двигателем в качестве источника энергии и воздушным винтом в качестве устройства, создающего тягу (движителя). В турбовинтовом двигателе источником механической энергии является турбина, а в качестве движителя используется воздушный винт и сопло. В реактивном двигателе мощность турбины затрачивается только на привод компрессора, а тяга создается только соплом. — *Прим. ред.*

<sup>4</sup> Высокооктановым бензином могут заправляться самолеты с поршневыми двигателями (ДВС), а реактивные и турбовинтовые самолеты используют в качестве топлива керосин — традиционное топливо реактивных двигателей. Использование смесей этих видов топлива для реактивных и турбовинтовых двигателей принципиально невозможно. — *Прим. ред.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### ЧТО ТАКОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ?

В большинстве видов реактивного топлива для реактивных двигателей в качестве основы используется *керосин*, выделяемый при переработке нефти наряду с бензином, дизельным топливом и другими нефтепродуктами. Керосин можно также получать из угля. Именно так и было в середине XVIII века, когда керосин применялся для *газовых ламп*, которыми обеспечивалось внутреннее и внешнее освещение до появления *электрических ламп*.

Керосин имеет различные области применения, не связанные с авиацией. В Японии он используется для отопления домов. На нем работают некоторые портативные печки для туристов и альпинистов. Керосин применяется в индустрии развлечений, так как он горит на открытом воздухе, выпуская эффектные языки пламени. Им можно воспользоваться в качестве растворителя. Керосином можно уничтожать вшей, правда, он вызывает воспаление кожи. Керосин, который используется для особых целей, очищается лучше, чем тот, который берется в качестве основы для реактивного топлива. Он имеет специфический запах, подобный запаху дизельного топлива, который может вызвать у некоторых людей тошноту или головную боль.

Когда керосин очищается для использования в качестве топлива для реактивных двигателей, в нем снижается содержание серы, а также уменьшаются природные коррозионные свойства. Наиболее часто в Америке используется полученное из керосина топливо для реактивных двигателей марки *JET A*. Оно замерзает при температуре  $-40^{\circ}\text{C}$  ( $-40^{\circ}\text{F}$ ) и имеет *температуру самовозгорания* примерно  $425^{\circ}\text{C}$  ( $800^{\circ}\text{F}$ ). Некоторые другие виды топлива для реактивных двигателей, особенно *JET B*, замерзают при более низких температурах, но они более летучи, поэтому используются только для полетов в высоких, или полярных, широтах, где температуры экстремально низкие.

В топливо для реактивных двигателей, получаемое из керосина, добавляются присадки, такие как *антиоксиданты* (чтобы топливо не стало слишком вязким)<sup>5</sup>; вещества, обеспечивающие *нейтрализацию статического электричества* (которое может вызвать искру и последующий пожар или взрыв); химические вещества, обеспечивающие понижение коррозионной активности чистого керосина; вещества, замедляющие образование льда, — *ингибиторы оледенения*

---

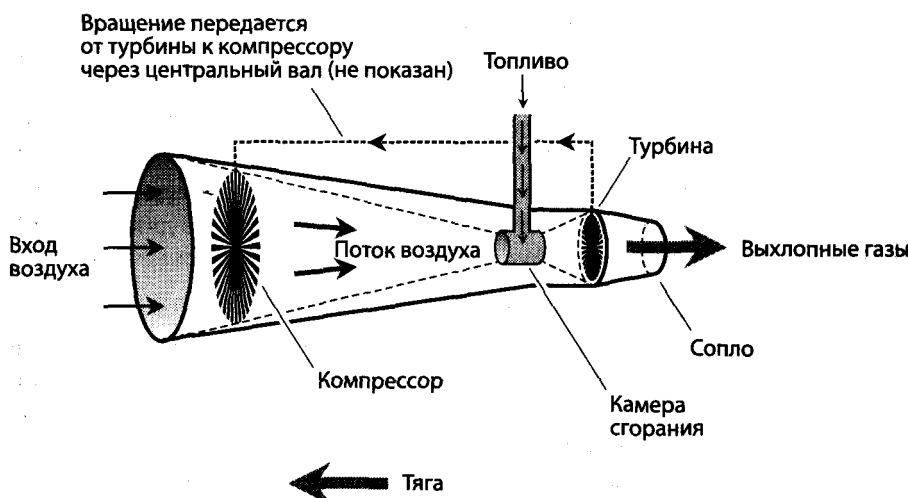
<sup>5</sup> Антиоксиданты применяются для сохранения свойств (консервации) различных материалов. — Прим. ред.



(чтобы предотвратить замерзание трубок, по которым поступает топливо), а также тетраэтилсвинец — антидетонационная присадка, которая ранее вводилась и в автомобильный бензин.

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

На рисунке 6.3 иллюстрируется принцип работы реактивного двигателя<sup>6</sup>. Чертеж не стоит воспринимать буквально. Он значительно упрощен, а пропорции не соблюдены, так что какие-то размеры значительно увеличены, а другие, наоборот, уменьшены, чтобы нагляднее показать взаимодействие между основными компонентами.



**Рис. 6.3.** Упрощенная функциональная схема реактивного авиационного двигателя

Воздух поступает в большое отверстие воздухозаборника и засасывается внутрь двигателя благодаря вращению лопаточного колеса компрессора. Сжатый компрессором воздух поступает в камеру сгорания, туда же впрыскивается топливо, и смесь топлива с воздухом загорается. Сильное увеличение температуры вызывает экстремальный подъем давления в камере, и горячие газы вырываются из вы-

<sup>6</sup> Согласно русской терминологии описан турбореактивный двигатель (ТРД). — Прим. пер.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

ходного отверстия камеры сгорания с большой скоростью<sup>7</sup>. Турбина, вращаясь в этом газовом потоке, обеспечивает вращение лопаточного колеса компрессора (с которым турбина связана через центральный вал), но только после того, как двигатель начинает работать, а вначале компрессор требуется запустить от внешнего источника питания. В первых моделях реактивных двигателей питание компрессора обеспечивалось за счет поршневого двигателя, подобного тому, который установлен в винтовых самолетах.

Выхлопные газы выбрасываются из двигателя через *сопло* в сторону, противоположную движению. Если скорость выхлопных газов выше, чем воздушная скорость всей конструкции (скорость движения вперед в воздушном потоке), то возникает *тяга*.

Реактивные двигатели лучше всего работают на больших скоростях полета (более 640 км/ч), потому что в них малые объемы воздуха ускоряются с большим коэффициентом. На меньших скоростях движения винтовые самолеты часто работают лучше, потому что они ускоряют большие количества воздуха с маленьким коэффициентом. Для самолетов, летающих на малых скоростях, хорошо подходят и турбовинтовые двигатели. Вот почему они заменяют винтовые двигатели на небольших и средних рейсовых самолетах местных авиалиний.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ТРАДИЦИОННОГО ТОПЛИВА ДЛЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

У винтовых, турбовинтовых и реактивных двигателей в авиации есть лишь одно неоспоримое преимущество: сейчас им нет никаких альтернатив. Инженеры изучают возможность применения различных альтернативных источников энергии, даже водородной и атомной энергии, для создания новых типов двигателей самолетов, но на сегодняшний день ни одна из исследуемых технологий не готова к тому, чтобы стать серийной.

### НЕДОСТАТКИ ТРАДИЦИОННОГО ТОПЛИВА ДЛЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

- При сгорании авиационного топлива (даже при полном!) образуется  $\text{CO}_2$ .
- Авиационное топливо может быть пожароопасным при неправильном хранении.

---

<sup>7</sup> Автор путает процессы, происходящие в ДВС и ТРД. Экстремальное увеличение давления при увеличении температуры продуктов сгорания происходит только в ДВС, поскольку сгорание протекает в замкнутом объеме, что и приводит к резкому увеличению скорости на выходе из камеры сгорания. — *Прим. ред.*



- Бывали случаи, когда горючее авиационное топливо попадало в кабину самолета или протекало из топливных баков или трубок для подачи топлива и из-за этого возникали пожары или взрывы.
- Выбросы соединений серы, содержащихся в некоторых видах авиационного топлива, могут вызывать «кислотные дожди».
- Обычные авиационные двигатели шумят. В последние годы разработаны малошумящие реактивные двигатели, но если аэропорт расположен в черте города, шум все-таки будет создавать проблемы.
- Самолет с реактивным двигателем может оставлять за собой *инверсионный* (конденсационный) *след*, который способен повлиять на естественную динамику верхних слоев атмосферы.
- Некоторые химические компоненты авиационного топлива увеличивают риск возникновения онкологических заболеваний у человека и животных, если непосредственно воздействуют на них в течение определенного периода времени.
- Авиационное топливо получается путем переработки сырой нефти и, естественно, попадает в зависимость от всех рыночных проблем, которые связаны с этим источником энергии.
- Запасы нефти и, соответственно, поставки обычного авиационного топлива рано или поздно закончатся. Вопрос только в том, когда это произойдет.

### Задача 6.3

Предположим, что наступил день, когда широкодоступный водород заменил природный газ для отопления домов, а также бензин или дизельное топливо для автомобилей, грузовиков, судов и тепловозов. Будет ли он пригоден и в качестве авиационного топлива?

### Решение 6.3

Да, но только если будет найден экономически эффективный и безопасный способ получения, транспортировки и хранения используемого водородного топлива в нужных количествах.

## Традиционное ракетное топливо

В настоящее время существует два вида ракетного топлива: *жидкое ракетное топливо* и *твердое ракетное топливо*. Ракетный двигатель на жидком топливе работает как гигантский реактивный двигатель, за исключением того, что запасы окислителя транспорти-





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

руются в летательном аппарате, а не берутся из наружного воздуха. Ракетный двигатель на твердом топливе существенно отличается от реактивного двигателя базовой конструкции. В известном смысле ракетный двигатель на твердом топливе можно представить как огромную петарду с управляемым процессом горения, содержащую окислитель, перемешанный с порохом.

### ЧТО ТАКОЕ ЖИДКОЕ РАКЕТНОЕ ТОПЛИВО?

Жидкое ракетное топливо состоит из *горючего* и *окислителя*. Функция горючего в ракетном двигателе та же, что и топлива в реактивном двигателе, а окислитель в ракетном двигателе играет ту же роль, что и воздух, который обеспечивает горение топлива в реактивном двигателе. Основные виды горючего для ракетных двигателей — это керосин, водород (сжиженный для хранения в бортовых баках) и азотно-водородное соединение под названием *гидразин* ( $N_2H_4$ ). В случае использования керосинового или водородного горючего в качестве окислителя применяется кислород (сжиженный для хранения в бортовых баках). Этот сжиженный кислород в Америке обозначается LOX. Когда в качестве ракетного топлива используется гидразин, окислителем является азотно-кислородное соединение, называемое *четыреохокисью азота* ( $N_2O_4$ ).

Наиболее чисто горящее жидкое ракетное топливо — это водород, который при соединении с кислородом производит только тепловую энергию и водяные пары (в качестве продуктов сгорания). В процессе очистки керосина для использования в качестве ракетного топлива остается мало загрязняющих примесей, но из-за наличия атомов углерода в молекулах этого топлива при его горении выделяется, как побочный продукт, некоторое количество CO и CO<sub>2</sub>. Гидразин и четырехокись азота при взаимодействии образуют значительное количество азота. Этот газ нетоксичен и фактически формирует около трех четвертей состава атмосферы Земли у ее поверхности.

### ЧТО ТАКОЕ ТВЕРДОЕ РАКЕТНОЕ ТОПЛИВО?

Первые виды твердого ракетного топлива были похожи на оружейный порох и использовались в военной технике, а также при запуске фейерверков. В настоящее время такое топливо применяется только для моделей ракет. Типичный двигатель для модели ракеты — это маленький цилиндр размером с палец, начиненный материалом, похожим на порох. Он поджигается горячей проволокой и горит 1–2 секунды. Благодаря тяге, которая обеспечивается таким малень-



ким двигателем, можно запустить маленькую ракету (длиной около 0,5 м) на высоту несколько сотен метров, если, конечно, ракете дать возможность стартовать после того, как топливо начнет гореть.

Базовое твердое топливо содержит горючее, окислитель и *катализатор*, который способствует поддержанию устойчивого горения после воспламенения. Эти составляющие топлива в исходном состоянии находятся в виде порошка. Затем из них создается однородная плотная смесь, чтобы обеспечить ровное, непрерывное, длительное горение. Типичный твердотопливный двигатель военной ракеты работает на смеси древесного угля — углерода (в качестве горючего), нитрата калия (в качестве окислителя) и серы (в качестве катализатора). Эта комбинация называется *черным порохом*. Другая комбинация материалов, которую можно использовать, чтобы сделать твердое топливо для ракеты, включает хлорат натрия, хлорат калия (бертолетову соль), порошок магнезии или порошок алюминия. Смесь этих веществ называют *белым порохом*.

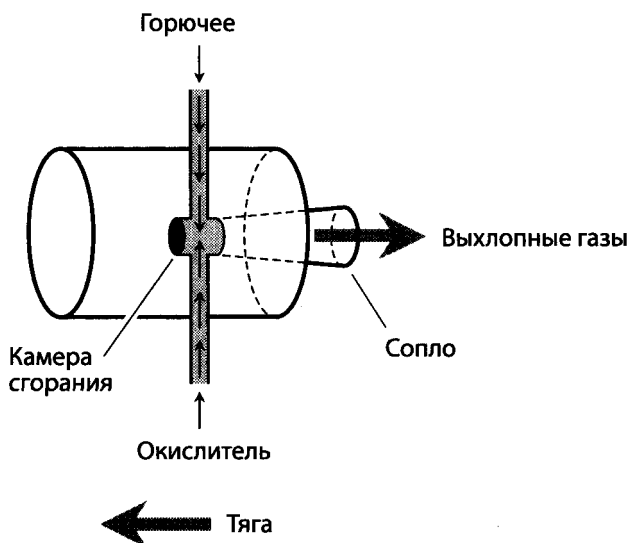
### КАК ПОПАСТЬ В КОСМОС

Ни чернѣй, ни белый порох не могут обеспечить энергию, достаточную для ускорения летательного аппарата настолько, чтобы он хотя бы вышел на околоземную орбиту. Для этого необходимо достичь *первой космической скорости*, равной примерно 29 000 км/ч. Лучшие современные виды твердого топлива могут обеспечить достаточную тягу для *ракеты-носителя* — первой ступени многоступенчатой ракеты, для того чтобы последующие ступени на жидком топливе смогли доставить на орбиту полезную нагрузку или даже достичь *второй космической скорости* и отправиться в межпланетное путешествие. Минимальная скорость, которая требуется для того, чтобы преодолеть влияние гравитационных сил Земли, составляет примерно 40 000 км/ч.

### КАК РАБОТАЕТ РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ НА ЖИДКОМ ТОПЛИВЕ

На рисунке 6.4 иллюстрируется принцип работы ракетного двигателя на жидком топливе. Горючее и окислитель поступают в камеру сгорания, где воспламенение инициирует начало процесса горения. Пока горючее и окислитель поступают в камеру, горение продолжается.

Прямая тяга (тяга для движения вперед) — это результат *принципа реактивного движения*: горячие газы, истекая из сопла, производят мощную направленную назад реактивную струю.



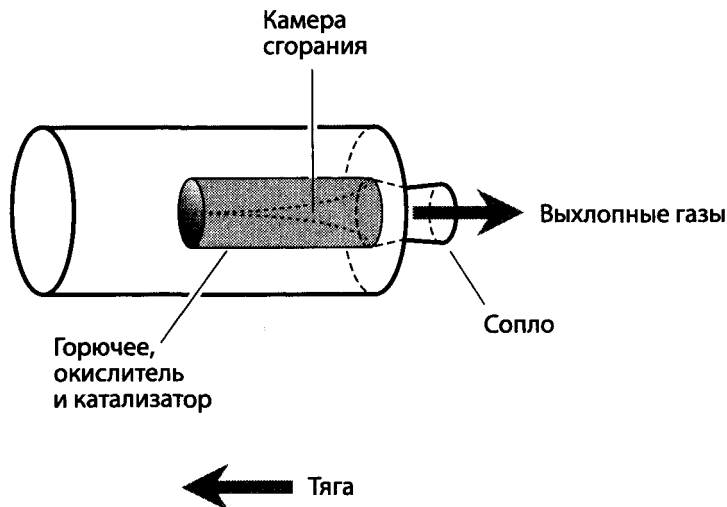
**Рис. 6.4.** Упрощенная функциональная схема ракетного двигателя на жидком топливе

Это вынуждает ракету лететь вперед с ускорением. Когда ракета летит в пределах атмосферы Земли, то для обеспечения прямой тяги требуется, чтобы истекающие газы обеспечивали скорость, по крайней мере равную поступательной скорости летательного аппарата. Однако как только летательный аппарат окажется в открытом космосе, необходимость в этом отпадает. Газ, истекающий назад, независимо от его скорости, будет создавать силу, которая вызовет ускорение летательного аппарата в направлении движения.

### **КАК РАБОТАЕТ РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ**

На рисунке 6.5 представлен ракетный двигатель на твердом топливе конструкции, которая используется в моделях ракет. (В ракетах большего размера двигатель устроен по такому же принципу, хотя геометрия двигателя может быть немного другой.) Как только происходит воспламенение, топливо начинает гореть с управляемой скоростью, обеспечивая тягу, так как продукты горения в виде горячего газа выбрасываются через сопло (открытое отверстие сзади).

После того как в двигателе поджигается топливо, оно горит до тех пор, пока не закончится. Нет никакой возможности выключить двигатель или остановить горение топлива, пока цикл не завершится.



**Рис. 6.5.** Упрощенная функциональная схема ракетного двигателя на твердом топливе

Это можно считать недостатком твердотопливных двигателей в сравнении с двигателями на жидком топливе. Однако в реальных космических аппаратах твердое топливо применяется обычно только для начальных стадий полета, а на конечной стадии оно не используется, поэтому на практике это не становится существенной проблемой.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ТРАДИЦИОННОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА

Традиционное ракетное топливо — жидкое или твердое — обеспечивает в настоящий момент единственный способ движения ракет. Альтернативные предложения — *ионные двигатели*, управляемые *термоядерные реакторы* или *солнечные паруса* — находятся на стадии научных разработок, но летательные аппараты подобного типа, по всей вероятности, не будут практически применяться до конца XXI века.

### НЕДОСТАТКИ ТРАДИЦИОННОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА

- Ракеты на традиционном ракетном топливе не могут достичь скоростей, существенно превышающих вторую космическую скорость, равную 40 000 км/ч, с тем чтобы отправиться в дальнее межпланетное путешествие. Количество топлива, нужное для до-



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

стижения таких высоких скоростей, было бы столь велико, что космический аппарат стал бы слишком тяжелым, чтобы вообще было возможно обеспечить его ускорение до этих скоростей.

- Использование ракет на традиционном топливе для перемещения в пространстве является неэффективным решением. Чтобы запустить даже очень маленький космический аппарат и доставить полезную нагрузку на околоземную орбиту, требуется огромное количество топлива — во много раз большее, чем масса самого аппарата (полезной нагрузки).
- Ракеты на традиционном топливе непрактичны для межпланетных путешествий из-за ограничений по их максимальной скорости. Ближайшая солнечная система находится на расстоянии около 40 триллионов километров ( $4 \times 10^{13}$  км) от нашей Солнечной системы. Даже при скорости 1 000 000 км/ч путешествие к этой солнечной системе заняло бы более 4500 лет!

### Задача 6.4

Можно ли для двигателя обычной ракеты использовать комбинацию жидкого и твердого топлива?

### Решение 6.4

Такое топливо было разработано и названо *гибридным топливом*; оно содержит твердое горючее и жидкий или газообразный окислитель. Трудность в том, что если твердое топливо смешано неоднородно, то оно может гореть неровно или с неполным сгоранием. Тем не менее в первом частном космическом корабле *SpaceShipOne* было использовано гибридное топливо. В качестве твердого горючего использовался *гидроксилполибутадиен*, а в качестве окислителя — *закись азота*.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отвечая на эти вопросы, вы можете пользоваться текстом книги. Восемь правильных ответов — хороший результат. Ответы помещены в конце книги.

1. Когда керосин используется в качестве горючего в жидком ракетном топливе, то:  
(а) в выхлопных газах неизбежно будут содержаться соединения углерода;



- (б) в качестве окислителя нужно использовать четырехокись азота;
  - (в) его нужно смешать с бензином, чтобы предотвратить чрезмерно быстрое сгорание;
  - (г) все вышеперечисленное.
2. Тетраэтилсвинец больше не используется в качестве антидетонационной присадки в бензине, потому что:
- (а) он дорогой и вообще бесполезен;
  - (б) свинец токсичен, и он накапливается в окружающей среде;
  - (в) он обладает сильными коррозионными свойствами и может испортить топливные трубки и двигатель;
  - (г) он чрезвычайно летучий и эффективен только при низких температурах.
3. Какое из следующих утверждений о традиционном реактивном авиационном топливе и двигателях является неправильным?
- (а) некоторые соединения в традиционном реактивном топливе могут вызывать рак у людей;
  - (б) наличие и стоимость реактивного топлива зависят от поставок сырой нефти;
  - (в) ядерное реактивное топливо дешевле и меньше загрязняет окружающую среду, чем традиционное реактивное топливо;
  - (г) самолет с двигателем на традиционном реактивном топливе может оставлять за собой инверсионный след в верхних слоях атмосферы.
4. Дизельное топливо:
- (а) более энергетически плотное, чем бензин;
  - (б) содержит больше растительных масел, чем бензин;
  - (в) выделяет больше газа CO, чем бензин, когда горит;
  - (г) выделяет выхлопные газы без запаха, когда горит.
5. Гидразин используется в качестве:
- (а) горючего для ракетного двигателя;
  - (б) катализатора для реактивного двигателя;
  - (в) окислителя-присадки в ракетном топливе для предотвращения стука в двигателе;
  - (г) присадки в дизельном топливе для предотвращения разрушения озона.
6. Какой из следующих терминов является наиболее точным определением для вещества, которое легко переходит из жидкого состояния в газообразное при комнатной температуре?



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- (а) реактивный;
  - (б) каталитический;
  - (в) летучий;
  - (г) горючий.
7. Какое из следующих утверждений о двигателях винтовых самолетов правильное:
- (а) винтовые двигатели ускоряют меньший объем воздуха, чем реактивные двигатели;
  - (б) винтовые двигатели ускоряют воздух до большей величины, чем реактивные двигатели;
  - (в) винтовые двигатели на высоких скоростях работают лучше, чем реактивные двигатели;
  - (г) для винтовых двигателей и реактивных двигателей используются разные виды топлива.
8. В двигателе внутреннего сгорания такт — это:
- (а) полное вращение вала;
  - (б) однократное движение поршня «вверх-вниз»;
  - (в) предварительное воспламенение топлива;
  - (г) отказ воспламенения в цилиндре.
9. Смесь топлива и воздуха в обычном бензиновом двигателе поджигается:
- (а) благодаря сжатию во время движения поршня вверх;
  - (б) благодаря расширению во время движения поршня вниз;
  - (в) с помощью электрической искры в цилиндре;
  - (г) с помощью слабой подсветки в цилиндре.
10. Важная цель турбины в реактивном двигателе состоит в том, что она:
- (а) обеспечивает дополнительную тягу;
  - (б) фильтрует ядовитые газы из выхлопных газов;
  - (в) втягивает воздух в отверстие для забора воздуха;
  - (г) обеспечивает вращение лопаточного колеса компрессора.

# Глава 7

## Двигатели на метане, пропане и биотопливе

Чтобы узнать, могут ли бензиновые и дизельные двигатели работать на каких-либо других видах топлива, были проведены испытания, при которых исследовалась возможность применения в таких двигателях различных горючих жидкостей и газов вместо бензина и биодизельного топлива или вместе с ними. И некоторые из них в результате нашли практическое применение. В этой главе мы рассмотрим несколько видов альтернативного топлива, пригодного для применения в двигателях наземного транспорта.

### Использование метана в качестве топлива для двигателей

Метан известен прежде всего как топливо для систем отопления жилых помещений, но его также можно использовать как альтернативу бензину<sup>1</sup>. Первые автомобили на метане были созданы еще до того, как бензин появился в широкой продаже. Но, подобно паровым автомобилям, автомобили на метане были вытеснены в начале XX века мощными, доступными, серийно выпускаемыми транспортными средствами на ископаемом топливе. Метан для двигателей автомобилей, грузовиков и судов обычно добывается из недр земли таким же способом, как и метан для отопления домов. Но существуют и другие технологии, из которых наиболее известна ферментация, или компостирование, отходов растений и животных. Метан, производимый таким способом, иногда называется *биогазом*<sup>2</sup>. При приме-

---

<sup>1</sup> В России для бытовых и промышленных целей в качестве жидкого топлива применяется так называемый природный (промысловый) газ, содержащий от 78 до 98% метана. — *Прим. ред.*

<sup>2</sup> В биогазе содержание метана может быть еще меньше, чем в природном газе, — до 60%. — *Прим. ред.*





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

нении в двигателях метан работает, по существу, таким же образом, как и пропан, который будет обсуждаться в следующем разделе.

### ПРЕИМУЩЕСТВА МЕТАНА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

- Двигатели на метане в основном имеют больший коэффициент полезного действия, чем бензиновые двигатели, т. е. эффективнее преобразуют потенциальную тепловую энергию в полезную механическую.
- Массовое производство и использование метана могут облегчить трудности, связанные с нестабильными ценами и перерывами в поставках бензина и дизельного топлива.
- Нарастание производства биогаза для использования в транспортных средствах позволило бы одновременно увеличить поставку метана для отопления домов и офисных помещений, а также для работы электростанций.
- Во многих странах, в том числе в Америке, сети трубопроводов для промышленно производимого метана уже существуют. Было бы несложно и недорого создать обширную сеть заправок станций для транспортных средств на метане.
- Биогаз можно производить на небольших компостных установках. Для его получения необязательно использовать исключительно централизованные источники. Это способствует обеспечению энергобезопасности, так как позволяет рассредоточить энергетические ресурсы, что снижает риски от природных катастроф и воздействия «человеческого фактора».

### НЕДОСТАТКИ МЕТАНА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

- В том виде, в котором он может гореть, при комнатной температуре и нормальном давлении метан представляет собой газ. Это порождает такие же проблемы при переноске и транспортировке, какие возникают для любого промышленного газа.
- Несмотря на то что двигатели на метане имеют высокий *коэффициент полезного действия*, они по своим характеристикам не достигают уровня лучших бензиновых двигателей. Если вы автогонщик, то метан — не для вас.
- Метан нечасто можно найти на заправочных станциях в большинстве стран (в том числе в Америке) на момент написания этой книги.
- Производство биогаза с помощью технологий компостирования может сопровождаться неприятными запахами. Есть также



опасения, что этот процесс, если он не выполняется должным образом, может привести к размножению и распространению микроорганизмов, способствующих развитию заболеваний.

- Баки с метаном требуют периодической проверки и сертификации квалифицированным персоналом, имеющим лицензию. Это может быть неудобно и дорого.

### Задача 7.1

Начертите схему, которая иллюстрирует процесс производства, распределения и использования биогаза из компостируемых отходов животных и растений.

### Решение 7.1

На рисунке 7.1 представлен процесс, с помощью которого все это может быть реализовано в областном или региональном масштабе.



Рис. 7.1. Иллюстрация к задаче 7.1 и ее решению



### Использование пропана в качестве топлива для двигателей

Пропан, так же как и метан, является побочным продуктом при добыче и переработке нефти, и он широко используется для отопления домов и для кухонных плит. Он также часто применяется для электрогенераторов средней мощности, которые устанавливаются в передвижных домиках для отдыха или в домах без централизованного электроснабжения. Так же как и метан, пропан использовался для транспортных средств до того, как появился бензин. Сегодня в Америке по дорогам ездят сотни тысяч автомобилей и грузовиков на пропане.

#### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

При использовании в качестве топлива для двигателей пропан и метан работают аналогично. Главное отличие между этими газами состоит в том, что пропан хранится в сжиженном виде, в то время как метан — в газообразном. Пропан становится газообразным, когда его выпускают из газового баллона. При сгорании одного галлона пропана обычно выделяется энергия, равная примерно  $8,4 \times 10^4$  БТЕ.

В Америке для оценки эффективности альтернативного топлива иногда используется коэффициент *GGE*, равный отношению количества энергии в БТЕ, вырабатываемой при сгорании одного галлона бензина, к количеству энергии в БТЕ, вырабатываемой при сгорании одного галлона альтернативного топлива. Коэффициент *GGE* пропана (давайте назовем его  $G_p$ ) может быть определен по следующей формуле:

$$G_p = (1,25 \times 10^5) / 8,4 \times 10^4 = 1,5.$$

При сгорании одного галлона бензина производится энергия, равная примерно  $1,25 \times 10^5$  БТЕ, что в 1,5 раза больше энергии, которая выделяется при полном сгорании одного галлона жидкого пропана. В разных странах эта величина может меняться в зависимости от сорта топлива и степени его очистки. Экономические показатели зависят от цены альтернативного топлива, цены бензина, коэффициента полезного действия бензинового двигателя, коэффициента полезного действия двигателя на альтернативном топливе.

Для сравнения двух видов топлива на основе коэффициента *GGE* можно пользоваться не только такими единицами измерения, как



галлон и БТЕ, но и, например, литрами и джоулями. Применяя эту вторую пару единиц измерения для оценки энергии, выделяемой пропаном и бензином, мы получим все ту же величину  $G_p = 1,5$ , так как это *безразмерная величина*, определяющая отношение двух параметров, и ее значение не меняется, если оба параметра выражены в одних и тех же единицах измерения.

Мощность, скорость движения и ускорение транспортных средств с двигателями на пропане такие же, как и у тех, что имеют двигатели на метане. Для наполнения бака двигателя на пропане требуется примерно такое же время, за которое наполняется бак двигателя, работающего на ископаемом топливе. У большинства используемых сейчас автомобилей на пропане были модифицированы обычные бензиновые или дизельные двигатели. Однако некоторые производители уже предлагают новые модели автомобилей с двигателями на пропане. В США имеются тысячи заправочных станций, где производится заправка пропаном, но все-таки они не столь часто встречаются, как заправочные станции для заправки бензином и дизельным топливом.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ПРОПАНА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

- Выбросы двигателей на пропане меньше, чем выбросы двигателей на бензине или на дизельном топливе (имеется в виду, что и те и другие двигатели хорошо отрегулированы и имеют одинаковый рабочий объем). Вредные выбросы включают в себя химические вещества, разрушающие озоновый слой, а также токсичные химические вещества, такие как бензол, формальдегид, ацетальдегид.
- Сейчас пропан (с учетом коэффициента GGE) почти везде дешевле бензина. В результате по сравнению с автомобилями на ископаемом топливе автомобили на пропане дешевле в эксплуатации.
- Несмотря на то что плотная сеть пропановых заправочных станций пока отсутствует, стоимость ее создания в принципе ниже, чем стоимость создания такой сети для других альтернативных источников энергии, таких как водород или топливные элементы.
- Большая часть пропана, используемая в Америке, добывается в пределах страны. Таким образом, поставки и цены меньше зависят от событий, происходящих за границами страны.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### НЕДОСТАТКИ ПРОПАНА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

- Для безопасной заправки, управления и обслуживания автомобилей на пропане необходимо специальное обучение. Хотя пропан более безопасен в хранении, чем другие газообразные виды топлива, попадая в атмосферу, он приобретает газообразную форму. Это увеличивает риск взрыва по сравнению с традиционным топливом.
- Максимальная дальность пробега автомобиля с пропановым двигателем составляет только 67% от максимальной дальности пробега автомобиля с двигателем на бензине или дизельном топливе при одинаковых размерах бака. (Эта цифра следует из соотношения  $1/G = 1/1,5 = 0,67 = 67\%$ .)
- Баки для пропана должны быть более прочными, чем те, которые используются для бензина или дизельного топлива. Это приводит к увеличению массы автомобиля, что влияет на расход топлива и время набора скорости. Увеличенная масса автомобиля на пропане удлиняет его тормозной путь.
- Баки, в которых хранится пропан, требуют периодической проверки и сертификации квалифицированным персоналом, имеющим лицензию. Это может быть неудобно и дорого.

#### Задача 7.2

Возможно ли создать гибридный автомобиль, который может заправляться и традиционным топливом, и пропаном? Можно ли переделать автомобиль, работающий на бензине или дизельном топливе, так, чтобы он смог работать на пропане?

#### Решение 7.2

Ответ на оба вопроса: «Да». Автомобиль, работающий на пропане, можно оборудовать гибридной системой подачи топлива, которая позволяет ему работать как на пропане, так и на традиционном топливе. Можно также оборудовать автомобиль, работающий на бензине или на дизельном топливе, дополнительно гибридной системой подачи топлива или только системой подачи пропана.

## Использование этанола в качестве топлива для двигателей

Этанол производится путем ферментации зерна или другого растительного сырья. По этой причине он считается биотопливом, так же



как биогаз и биодизель. Технология производства этанола несколько напоминает процесс изготовления водки и ликеров. В качестве топлива этанол применяется так же давно, как метан и пропан. Двигатели первых автомобилей Генри Форда («Модель Т» в частности) работали на этаноле. Поразительно, но он называл этанол «топливом будущего»! В очищенном виде этанол представляет собой горючую, легко воспламеняющуюся, летучую прозрачную жидкость.

### КАК ПРОИЗВОДИТСЯ ЭТАНОЛ

В Америке наиболее популярной сельскохозяйственной культурой, из которой производится этанол, является кукуруза. В Бразилии такой культурой стал сахарный тростник. В Канаде в качестве источника растительного сырья применяется пшеница. Теоретически целлюлоза из любых растений, произрастающих на земле или в воде (даже из деревьев или водорослей), может использоваться для получения этанола.

Выращивание сельскохозяйственных культур для производства этанола обеспечивает поглощение из атмосферы  $\text{CO}_2$  — так называемого парникового газа. Такое же количество  $\text{CO}_2$  возвращается в атмосферу, когда этанол сгорает. Таким образом, использование этанола является нейтральным по отношению к  $\text{CO}_2$ , когда он производится из растений, специально выращенных для этой цели. Однако если растения скошены для производства этанола и уничтоженная биомасса не восполнена, использование полученного топлива вызывает суммарное увеличение  $\text{CO}_2$  в атмосфере<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> По оценкам ряда специалистов, в настоящее время рост производства этанола для использования в качестве биотоплива приводит только к дополнительным выбросам  $\text{CO}_2$  в атмосферу. Создание плантаций для выращивания сельскохозяйственных культур, из которых производится этанол, сопровождается разрушением естественного растительного покрова, поглощающего  $\text{CO}_2$ , а также выделением  $\text{CO}_2$  применяемой техникой. Расчетный период для погашения «углеродного долга» (количества  $\text{CO}_2$ , поступающего в атмосферу при разрушении естественного растительного покрова и сжигании топлива) в случае тропических лесов составляет несколько столетий, в случае прерий — 100 лет, в случае саванн — 20–30 лет. Следовательно, в этом развивающемся направлении получения жидкого альтернативного топлива при его производстве необходимо в качестве исходного материала ориентироваться на отходы лигноцеллюлозного сырья (отходы деревопереработки, лесопользования и т. д.), законодательно запретить использование продуктов питания, контролировать площади выращивания (энергетических лесов) и т. д. — *Прим. пер. и ред.*



Рис. 7.2. Использование технологии сухого помола для выделения этанола из кукурузных зерен, а также получения побочного продукта, идущего на корм животным

На рисунке 7.2 упрощенно представлен процесс получения этанола из кукурузного зерна с использованием технологии *сухого помола*.

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Большинство современных транспортных средств используют бензин с 10%-ной добавкой этанола. И при этом не возникает никаких негативных эффектов. Смеси, которые содержат 10% этанола или менее, в Америке называют *E10* или *газохолом*. Если к бензину добавляется более 10% этанола, транспортное средство нуждается в модификации, для того чтобы топливо сжигалось эффективно. В некоторых смесях процент этанола достигает 85, и в этом случае топливо называется *E85*.

Есть транспортные средства, которые могут работать на смесях с разными соотношениями бензина и этанола. Датчик, соединенный с компьютером, регулирующим работу двигателя, определяет процентное содержание этанола в топливном баке и соответственно подстраивает двигатель. Пробег на один галлон в случае использо-



вания смеси бензина с этанолом на несколько процентов меньше, чем пробег на один галлон при использовании чистого бензина, потому что этанол имеет меньшую энергетическую плотность (теплотворную способность), чем бензин. Степень проявления этого эффекта зависит от соотношения этанола и бензина в смеси: чем больше этанола, тем короче пробег. Но поскольку добавление этанола увеличивает октановое число бензина, часто использование газохол или E85 приводит к улучшению характеристик автомобиля.

В начале XXI века, когда цены на бензин резко возросли, в Америке увеличился интерес к E85. Большинство автомобилей до этого не были модифицированы для использования E85, и его производство было ограничено. Но после подорожания бензина наметился рост производства E85, особенно в тех штатах, где в изобилии выращивается кукуруза (в северной части Центральной Америки). В то время, когда вы читаете эту книгу, E85 должен стать более популярным, более доступным и больше автомобилей должны быть модифицированы для его использования. Но я советую всегда проверять спецификацию предлагаемого E85, прежде чем пытаться применить его в любом двигателе.

### **ПРЕИМУЩЕСТВА ЭТАНОЛА КАК ТОПЛИВА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ**

- Добавление этанола вызывает повышение октанового числа обычного бензина, что, в свою очередь, позволяет увеличить пробег автомобиля.
- Этанол может использоваться как основной компонент топлива (как, например, в E85), таким образом снижая зависимость от нефтяных продуктов.
- Применение этанола позволяет уменьшить выделение ядовитого газа CO.
- Производство этанола и использование его не вносят вклад в глобальное выделение CO<sub>2</sub>, если оно правильно организовано<sup>4</sup>.
- Этанол может помочь предотвратить замерзание газопроводов в морозную погоду.
- В некоторых местностях газохол и E85 дешевле, чем обычный бензин.

---

<sup>4</sup> См. предыдущее примечание.





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Широкое производство и использование этанола в качестве топлива приносят выгоду фермерам благодаря увеличению спроса на их продукцию.
- Растительное сырье, используемое для производства этанола, относится к возобновляемым источникам.
- Этанол не является настолько горючим, как бензин, поэтому он менее взрывоопасен.

### НЕДОСТАТКИ ЭТАНОЛА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

- Заправочные станции для бензина, содержащего этанол, особенно E85, не столь широко распространены, как заправочные станции для обычного бензина (на момент написания этой книги).
- В некоторых местностях газохол и E85 дороже, чем обычный бензин.
- Двигатели некоторых транспортных средств могут быть повреждены при неправильном использовании топлива с этанолом. Это особенно касается E85, если его по невнимательности залили в бак транспортного средства, двигатель которого сконструирован для работы на обычном бензине.
- Поскольку часть, если не сказать большая часть, этанола производится из растительного сырья, которое иначе могло бы использоваться в пищу для людей, то существует мнение, что широкое использование этанола в качестве топлива несправедливо по отношению к голодающим людям, особенно в бедных странах.

### Задача 7.3

Может ли этанол, полученный в процессе очистки для топлива, использоваться для изготовления неядовитых напитков?

### Решение 7.3

Не пытайтесь использовать технический этанол для изготовления спиртных напитков и коктейлей! Согласно существующему закону при производстве «технического» этанола, предназначенного для использования в качестве топлива, в этанол добавляется небольшое количество бензина или другой пищевой добавки. Употребление этого «чистого» этанола опасно для здоровья! Пейте алкоголь в местах, где крепкие напитки продаются для употребления людьми, а не для использования в двигателях внутреннего сгорания!



## Использование биодизеля в качестве топлива для двигателей

*Биодизельное топливо (биодизель)* представляет собой горючую, довольно вязкую жидкость, которая состоит из алкил-эфиров жирных кислот, полученных из растительного масла или пищевого жира. Это топливо разработано для применения в двигателях с компрессионным воспламенением, подобных или идентичных тем, которые работают на дизельном топливе, получаемом из нефти.

### КАК ПРОИЗВОДИТСЯ БИОДИЗЕЛЬ

Соевые бобы являются самым дешевым и наиболее широко распространенным растительным сырьем для производства масла, которое подвергается очистке, чтобы получилось биодизельное топливо. Отжатое из бобов масло обрабатывается для того, чтобы удалить воду, грязь, посторонние примеси. Свободные жирные кислоты также удаляются. Смесь метилового спирта и катализатора, обычно гидроокиси натрия или калия, добавляется к очищенному маслу, и происходит так называемая реакция *этерификации*. Образующиеся в результате этой реакции химические соединения, называемые *эфирами*, затем очищаются и превращаются в пригодное для использования биодизельное топливо. На рисунке 7.3 упрощенно иллюстрируется процесс, описанный выше.

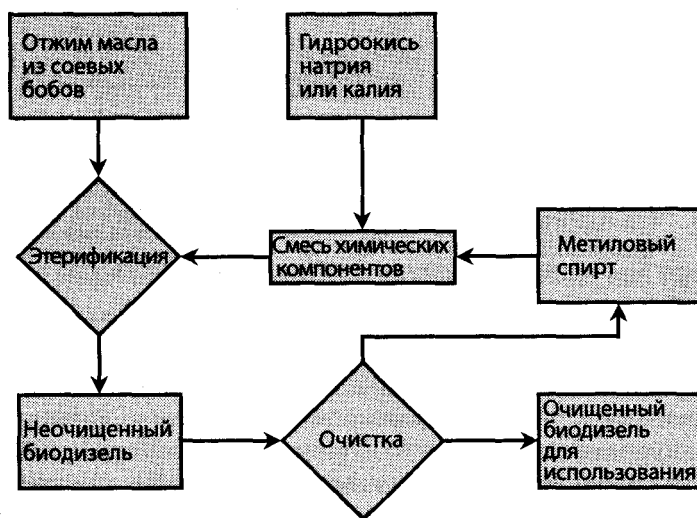


Рис. 7.3. Производство биодизельного топлива (биодизеля) из соевых бобов



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

Отработанные растительные масла или животные жиры, которые в противном случае были бы выброшены, также можно подвергнуть очистке для производства биотоплива. Процесс подобен тому, который происходит при обработке соевого масла, только добавляется еще одна стадия (рис. 7.4). На этой стадии используются метиловый спирт и сера в процессе, называемом *этерификация разбавленной кислотой*, в ходе которого восстанавливается свежее растительное масло, а затем оно обрабатывается тем же методом, что и соевое масло, чтобы получить конечный продукт.

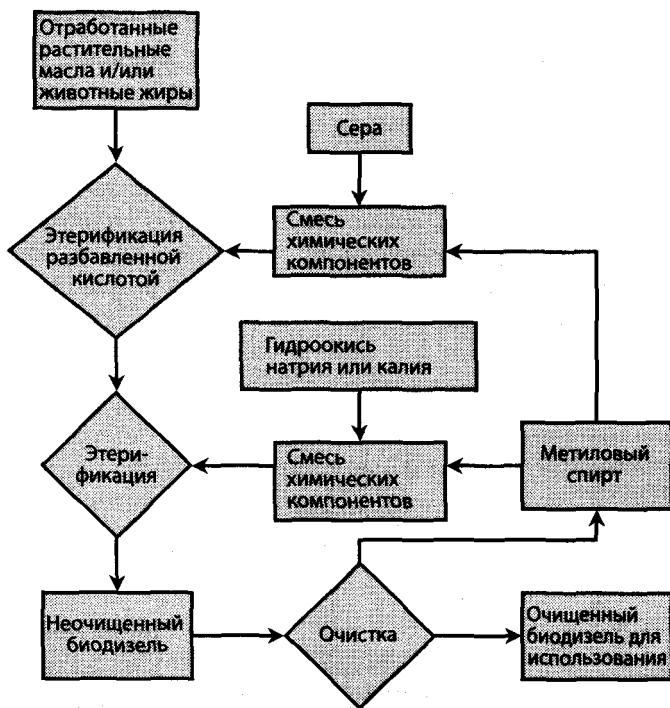


Рис. 7.4. Производство биодизельного топлива (биодизеля) из отработанных растительных масел и животных жиров

Биодизельное топливо обычно смешивается с дизельным топливом, полученным из нефти. Процентное содержание биодизеля в смеси указывается на этикетке после буквы «В» для того, чтобы обозначить пропорцию. Например, смесь с содержанием 20% биодизеля и 80% нефтяного дизельного топлива обозначается «В20»,



смесь, состоящая из равных частей биодизеля и нефтяного дизельного топлива, — «B50», а *чистое* (или почти чистое) *биодизельное топливо* — «B100».

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Почти все традиционные дизельные двигатели могут работать на смесях от чистого нефтяного дизельного топлива до B20 без каких-либо модификаций. В большинстве дизельных двигателей, созданных с 1994 года, смеси от B20 до B100 могут использоваться при минимальных модификациях, но транспортировка и хранение этих видов топлива требуют особого внимания. Рекомендуется, чтобы владельцы всех таких двигателей проверяли гарантийные обязательства на них, прежде чем пытаться использовать любые заменители чистого нефтяного дизельного топлива. Некоторые производители снимают гарантии, если двигатель работает на топливе с определенным процентом биодизеля.

При сгорании биодизеля выделяется меньше углекислого газа  $\text{CO}_2$ , чем при сгорании нефтяного дизельного топлива. Кроме того, биодизель содержит меньше серы, особенно когда он производится из растительных масел, таких как, например, соевое масло. В результате уменьшаются выбросы химических соединений, в том числе двуокиси серы ( $\text{SO}_2$ ), которая, как известно, портит окружающую среду, так как способствует образованию кислотных осадков. Уменьшаются и выбросы многих других соединений, в том числе ядовитого угарного газа  $\text{CO}$  и сажи. Однако при использовании биодизеля вместо нефтяного дизельного топлива увеличивается выделение закиси азота.

Биодизель при полном сгорании выделяет энергию, равную примерно  $1,17 \times 10^5$  БТЕ на галлон. Поэтому коэффициент GGE биодизельного топлива (обозначим его  $G_{\text{bd}}$ ) можно рассчитать следующим образом:

$$G_{\text{bd}} = (1,25 \times 10^5) / (1,17 \times 10^5) = 1,07.$$

### ПРЕИМУЩЕСТВА БИОДИЗЕЛЯ КАК ТОПЛИВА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

- Сгорание биодизеля сопровождается меньшими выделениями вредных веществ (не считая закиси азота), чем сгорание того же количества нефтяного дизельного топлива.
- Биодизель получают из возобновляемых источников. Его поставки, безусловно, можно увеличивать! А нефтяное дизельное топливо получают из невозобновляемых источников.
- Ненужные отработанные растительные масла и пищевые жиры могут использоваться для производства биодизеля.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Широкое использование биодизеля может уменьшить зависимость от импортируемого топлива.
- Чистый биодизель нетоксичен при распаде, потому что он разлагается, превращаясь в биокomпоненты. Нефтяное дизельное топливо может испортить окружающую среду при распаде в больших количествах.
- Биодизель более безопасен, чем нефтяное дизельное топливо. Он менее воспламеним при хранении и транспортировке.

### НЕДОСТАТКИ БИОДИЗЕЛЯ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

- Во время написания этой книги биодизель не был столь широко распространен, как нефтяное дизельное топливо. В тех местах, где биодизельное топливо доступно, оно обычно дороже, чем дизельное топливо из нефти. (Сейчас условия могут измениться.)
- Хранение, погрузка и транспортировка биодизеля требуют специальной организации.
- При сгорании биодизеля выделяется больше закиси азота, чем при сгорании того же количества нефтяного дизельного топлива.
- Существует мнение, что поскольку часть биодизельного топлива производится из соевых бобов, являющихся хорошим источником протеина так же, как и масла, то широкое распространение биодизельного топлива косвенно скажется на увеличении голода в масштабах планеты.
- Биодизель имеет свойства растворителя, что может вызвать проблемы в старых дизельных двигателях. Фильтры системы подачи топлива могут засориться субстанциями, образовавшимися при растворении. Могут также пострадать детали из резины.
- В большинстве применений существует незначительное ухудшение основных параметров и пробега транспортного средства при использовании биодизеля вместо нефтяного дизельного топлива.

#### Задача 7.4

Можно ли отработанное растительное масло или животный жир, который сливают из сковородок, налить в топливный бак транспортного средства с двигателем на дизельном топливе и использовать в качестве биодизельного топлива? Например, если у повара ресторана после приготовления завтраков для клиентов остается полгаллона свиного жира, может он налить горячий жир прямо в бак грузовика с дизельным двигателем и надеяться, что жир будет работать как биодизельное топливо?



### Решение 7.4

Абсолютно нет! Использованное растительное масло или жир должны пройти процесс обработки, который показан на рис. 7.4, прежде чем они смогут служить биодизельным топливом. Это совершенно очевидно в случае со свиным жиром, который застывает при температуре, близкой к комнатной. Но это справедливо даже для жиров, которые остаются жидкими при сравнительно низких температурах, например кукурузного, рапсового или даже соевого масла.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отвечая на эти вопросы, вы можете пользоваться текстом книги. Восемь правильных ответов — хороший результат. Ответы помещены в конце книги.

1. Биогаз — это другое название:
  - (а) бензина, производимого из соевых бобов;
  - (б) пропана, производимого путем ферментации кукурузы;
  - (в) метана, производимого из компоста;
  - (г) биодизеля, производимого из животного жира.
2. Предположим, что коэффициент GGE альтернативного жидкого топлива точно равен двум. Это означает, что если определенный объем бензина выделяет  $x$  БТЕ энергии при полном сгорании, то альтернативное топливо при полном сгорании выделяет:
  - (а)  $4x$  БТЕ;
  - (б)  $2x$  БТЕ;
  - (в)  $0,5x$  БТЕ;
  - (г)  $0,25x$  БТЕ.
3. Топливо, называемое B70, состоит из:
  - (а) 70% этанола;
  - (б) 70% бензина;
  - (в) 30% биодизеля;
  - (г) ни один из предложенных ответов не верен.
4. Что из нижеприведенного нужно вставить на место пробела, чтобы сделать следующее утверждение верным: «Двигатели на дизельном топливе, построенные до 1994 года, будут работать на \_\_\_\_\_ без модификации»?
  - (а) B10;
  - (б) B40;
  - (в) B70;
  - (г) B100.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

5. В Бразилии этанол получается большей частью из:
  - (а) сахарного тростника;
  - (б) соевых бобов;
  - (в) кукурузы;
  - (г) кокосовых орехов.
6. Какой из нижеперечисленных видов выбросов выделяется в меньшем количестве при горении нефтяного дизельного топлива, чем биодизельного топлива?
  - (а) двуокись серы;
  - (б) двуокись углерода;
  - (в) окись углерода;
  - (г) закись азота.
7. Какое из следующих утверждений о биодизеле несправедливо?
  - (а) при горении биодизеля выделяется меньше двуокиси серы, чем при горении нефтяного дизельного топлива;
  - (б) биодизель может производиться из отработанного пищевого жира;
  - (в) биодизель получается из восстанавливаемых ресурсов;
  - (г) биодизель — это побочный продукт производства пропана.
8. Какой из нижеперечисленных видов топлива обычно является газом при хранении?
  - (а) пропан;
  - (б) биодизель;
  - (в) метан;
  - (г) ни один из перечисленных.
9. Смесь этанола и бензина в различных пропорциях может использоваться в:
  - (а) дизельных двигателях;
  - (б) двигателях с регулируемой системой подачи топлива;
  - (в) двигателях на пропане;
  - (г) во всех перечисленных.
10. При полном сгорании одного литра пропана выделяется:
  - (а) в 1,5 раза больше энергии, чем при полном сгорании одного литра бензина;
  - (б) примерно такое же количество энергии, как при полном сгорании одного литра бензина;
  - (в) около двух третей от количества энергии, выделяемой при полном сгорании одного литра бензина;
  - (г) около половины энергии, выделяемой при полном сгорании одного литра бензина.

# Глава 8

## Двигатели на электроэнергии, водороде и топливных элементах

В ближайшие годы спрос на нефть и ее производные будет возрастать. Китай и Индия войдут в число мощных экономических держав, нуждающихся в больших объемах энергии. Многие эксперты уверены, что поставки ископаемого топлива не смогут обеспечить стремительно растущие энергетические потребности. Это один из основных мотивов для разработки реальных альтернативных видов топлива для транспорта. Большие перспективы связывают с использованием электрической энергии. Одно из первых альтернативных технических решений основано на применении в автомобилях электромоторов постоянного тока, питающихся от аккумуляторов. В более сложных модификациях ток обеспечивается *топливными элементами*.

### Электромобили

Первоначальная базовая концепция построения *электромобиля* основана на непосредственном питании мотора электрической энергией от источника постоянного напряжения. Этим источником может быть подзаряжаемый аккумулятор, который устанавливается в автомобиле.

#### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

В *электромобиле* двигатель соединяется с колесами с помощью *системы приводов*, которая аналогична *трансмиссии*, имеющейся в обычном легковом автомобиле или грузовике. Скорость автомобиля зависит от скорости, с которой вращается вал двигателя. Скорость вращения вала в электромобиле регулируется педалью акселератора, такой же, как в любом обычном автомобиле, а в мотоцикле или вездеходе с электромотором — рукояткой-гашеткой. Скорость авто-





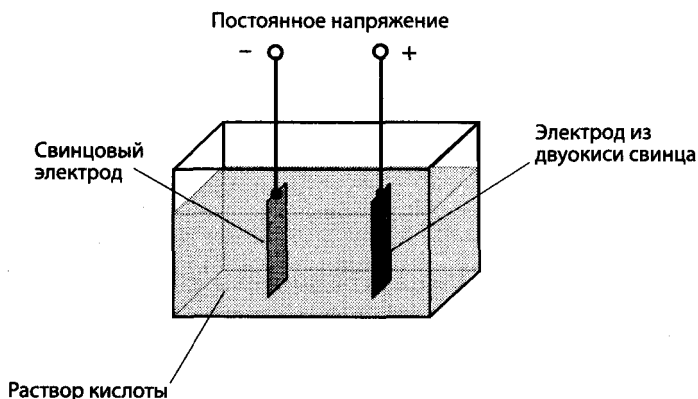
## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

мобили зависит также от коэффициента передачи между двигателем и колесами. Двигатель получает электрическую энергию от подзаряжаемых аккумуляторов. Два наиболее часто встречающихся типа аккумуляторов — это *свинцовые* и *никелевые*.

На полностью заряженном аккумуляторе в большинстве случаев можно проехать около 100 км, после чего потребуются подзарядка аккумулятора. На улучшенных моделях вы проедете вдвое больший путь. Вместе с тем реальное расстояние, которое может преодолеть электро-мобиль, зависит от рельефа дороги, направления движения относительно направления ветра, температуры окружающего воздуха. Максимальная скорость составляет примерно 130 км/ч при идеальных условиях: плоская дорога, безветренная погода, температура около 20 °C (70 °F).

### СВИНЦОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И АККУМУЛЯТОРЫ

На рисунке 8.1 показана конструкция *свинцового элемента*. Пластина свинца служит отрицательным электродом, а пластина двуокиси свинца — положительным. Оба электрода погружаются в раствор серной кислоты, называемый *электролитом*. В результате между электродами возникает *разность потенциалов*, или *напряжение*. Если подсоединить к электродам нагрузку, то благодаря разности потенциалов через нагрузку потечет ток. *Максимальный вырабатываемый ток* зависит от массы и объема элемента. Соединив последовательно (минус с плюсом) элементы, мы получим свинцовый аккумулятор, напряжение на клеммах которого будет зависеть от числа элементов.



**Рис. 8.1.** Упрощенная конструкция свинцового элемента. Если много таких элементов соединить последовательно или параллельно, получается свинцовый аккумулятор



Если к свинцовому аккумулятору подключить на длительное время нагрузку, то ток постепенно уменьшится, а электроды покроются пленкой. Состав электролита тоже изменится. В конце концов вся химическая энергия, содержащаяся в кислоте, преобразуется в электрическую. Тогда ток упадет до нуля, так как разности потенциалов между электродами уже не будет. Однако если пропустить ток через аккумулятор, подсоединив к его клеммам на некоторое время внешний источник постоянного тока (минус к минусу, плюс к плюсу), то электрохимическая энергия аккумулятора восполнится и его можно будет снова использовать. Этот цикл можно повторять много раз в течение срока службы аккумулятора. Свинцовые аккумуляторы применяются почти во всех обычных автомобилях для того, чтобы обеспечить зажигание. Они также используются в *источниках бесперебойного питания* для стационарных компьютеров, в печах на пеллетах, чтобы поддержать работу вентиляторов в случае перебоев в работе основной электрической сети, а также в *ноутбуках* в качестве основного источника питания во время автономной работы.

### НИКЕЛЕВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И АККУМУЛЯТОРЫ

Элементы на основе никеля бывают двух типов — *никель-кадмиевые* (NiCd) (рис. 8.2, А) и *никель-металлгидридные* (NiMH) (рис. 8.2, Б). Оба типа идентичны, за исключением конструкции отрицательного электрода. Аккумуляторы на основе никелевых элементов создаются путем соединения элементов последовательно, параллельно или последовательно-параллельно, что позволяет получить большие ток и напряжение по сравнению с тем, что дает один элемент. Все аккумуляторы на основе никеля подзаряжаемые, и процедуру подзарядки можно повторять сотни раз, если за аккумуляторами обеспечен надлежащий уход.

Никелевые элементы выпускаются разных размеров и формы. *Цилиндрические никелевые элементы* выглядят как обычные сухие элементы. Оба типа никелевых элементов такой конструкции показаны на рис. 8.2. Элементы, выполненные в виде маленького диска («*таблетки*»), обычно используются в фотоаппаратах, наручных часах, в устройствах памяти и для других случаев, где важна миниатюрность. Для электромобилей выпускаются никелевые *аккумуляторы повышенной емкости*, размеры и вес которых, естественно, больше. Разработаны и никелевые аккумуляторы для применения в космических аппаратах, они имеют специальные защитные корпуса и могут работать в жестких условиях эксплуатации.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

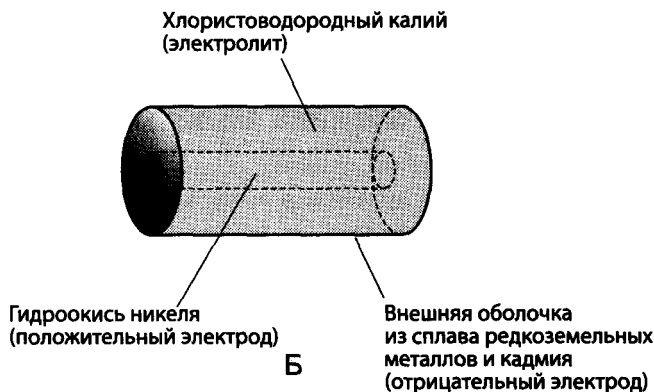
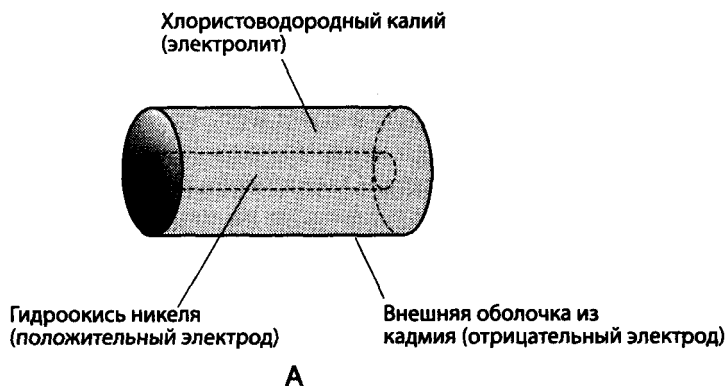


Рис. 8.2. Упрощенная конструкция никель-кадмиевого (А) и никель-металлгидридного (Б) элементов

Никелевые элементы и аккумуляторы никогда нельзя заряжать, пока они полностью не разрядятся, иначе это приведет к изменению полярности и, как следствие, к выходу их из строя.

Свойство, которое приобретает аккумулятор, когда его заряжают, не дав ему полностью разрядиться, называют *памятью аккумулятора*. Если никель-кадмиевый аккумулятор используется многократно, причем каждый раз он имеет возможность разрядиться до одного и того же уровня, то в этой точке цикла разряда он практически теряет способность вырабатывать ток. Создается впечатление, что аккумулятор совсем перестал работать. Но эту проблему можно ре-



шить следующим образом. Пользуйтесь аккумулятором, пока вы едете в автомобиле, а затем просто дайте ему возможность разрядиться до конца. Повторите эту процедуру несколько раз. Новые модели никель-металлгидридных аккумуляторов обладают свойством памяти в гораздо меньшей степени, чем старые никель-кадмиевые аккумуляторы. Кроме того, никель-металлгидридные аккумуляторы могут запасать на 40% больше энергии, чем никель-кадмиевые с теми же массой и объемом.

### ЗАРЯДНАЯ ЕМКОСТЬ

Любой элемент или аккумулятор может запасти определенное количество электрической энергии, которое выражается в ватт-часах ( $\text{Вт} \times \text{ч}$ ) или киловатт-часах ( $\text{кВт} \times \text{ч}$ ). Часто для характеристики запасаемого количества электричества применяется единица, характеризующая ток, который может быть запасен (а затем выделен) за определенное время, — ампер-час ( $\text{А} \times \text{ч}$ ). Чтобы перейти от этой единицы к ватт-часам, нужно зарядную емкость аккумулятора, выраженную в ампер-часах, умножить на напряжение батареи.

Рассмотрим аккумулятор с емкостью  $1000 \text{ А} \times \text{ч}$ . Этот аккумулятор может обеспечить ток  $100 \text{ А}$  в течение  $10 \text{ ч}$ ,  $10 \text{ А}$  в течение  $100 \text{ ч}$  или  $1 \text{ А}$  в течение  $1000 \text{ ч}$ . Существует бесконечное количество комбинаций величин тока и времени, и почти все они (за исключением экстремальных) могут быть реализованы на практике. Экстремальные ситуации могут возникнуть в результате длительного нерабочего состояния аккумулятора в течение *срока хранения* или во время работы при *максимальном возможном токе*. Срок хранения — это период времени, в течение которого аккумулятор остается работоспособным, не будучи ни разу подключен к нагрузке. Максимальный возможный ток — это самое большое значение тока, которое аккумулятор способен подать в нагрузку без существенного падения напряжения из-за собственного сопротивления и без перегрева.

### ЗАРЯДКА АККУМУЛЯТОРА

Накопительные аккумуляторы могут быть заряжены различными способами. Самый общепринятый способ — это использование внешнего зарядного устройства, включенного в розетку обычной электрической сети. Можно также использовать зарядные системы альтернативной энергетики — на ветровых или водяных турбинах, а также солнечные батареи. Солнечные батареи могут быть установлены на крыше или капоте автомобиля, чтобы дополнительно подза-



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

рядить аккумулятор, когда автомобиль находится на солнце. В усовершенствованных моделях электромобилей энергия для подзарядки аккумулятора может быть получена от основного двигателя внутреннего сгорания, или *генератора переменного тока*, от комплекта *топливных элементов* или от специальной тормозной системы, которая снижает скорость автомобиля, преобразуя кинетическую энергию колес в электрическую энергию для заряда батареи<sup>1</sup>.

### ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Первой напрашивается мысль, что электромобили вообще не создают загрязнений, но не все так просто. Неправильная утилизация свинцовых и никель-кадмиевых аккумуляторов наносит вред окружающей среде. Кроме того, для их заряда требуется электрическая энергия, а она обычно поступает от электростанций, загрязняющих окружающую среду.

Серная кислота в свинцовых аккумуляторах при испарении выделяет в том числе известный вредный газ — двуокись серы. Выделяется также водород — горючий газ, который может взорваться, находясь в замкнутом объеме, при соприкосновении с пламенем или при попадании искры. Свинец и кадмий — тяжелые металлы, которые образуют вещества, токсичные для окружающей среды. Поэтому при утилизации старых свинцовых и никель-кадмиевых аккумуляторов должны быть приняты специальные меры предосторожности. Именно для того, чтобы уменьшить загрязнение окружающей среды, никель-кадмиевые аккумуляторы в большинстве областей применения заменены никель-металлгидридными. Чаще на практике вместо никель-кадмиевого аккумулятора просто устанавливается никель-металлгидридный с теми же напряжением и током, и питаемое устройство продолжает успешно работать.

Когда аккумулятор электромобиля заряжается, он должен запасти немного больше энергии, чем та, которая потребуется от него при разряде. Например, аккумулятору с напряжением 12 В, который должен иметь заряд  $2000 \text{ А} \times \text{ч}$ , потребуется энергия, немного большая, чем  $24\,000 \text{ Вт} \times \text{ч}$ , т. е.  $24 \text{ кВт} \times \text{ч}$ , чтобы он был полностью заряжен. Это соответствует энергии, которую потребляет портативный электронагреватель, работающий на максимуме в течение 16 ч.

---

<sup>1</sup> На этом принципе построена работа системы KERS (Kinetic Energy Recovery System — система восстановления кинетической энергии) на болидах «Формулы 1». — *Прим. пер.*



Компактный электромобиль с таким аккумулятором после зарядки проедет в городе при идеальных условиях примерно 80 км.

Если бы резко возросло количество используемых электромобилей, то увеличилось бы и потребление электроэнергии от электростанций, генераторы которых чаще всего работают на метане, солярке или угле. Тем не менее принято считать, что использование электромобилей вместо обычных автомобилей при одинаковом суммарном пробеге позволит уменьшить загрязнение окружающей среды. Согласно некоторым оценкам, полное загрязнение, создаваемое электромобилями, составляет только около 10% от того загрязнения, которое производится автомобилями на ископаемом топливе (при одинаковом пробеге).

### ПРЕИМУЩЕСТВА ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

- Использование электромобилей может помочь индустриально развитым странам уменьшить зависимость от иностранной нефти.
- Загрязнение, обусловленное электромобилями, составляет лишь часть загрязнения, вызываемого автомобилями с двигателями внутреннего сгорания (при одинаковом пробеге), даже с учетом загрязнения, которое связано с использованием энергии электростанций и производства аккумуляторов.
- Стоимость энергии, необходимой для поездки на электромобиле, меньше, чем стоимость энергии, потребляемой при поездке на автомобиле, работающем на ископаемом топливе, на то же расстояние.
- В некоторых районах для тех, кто использует электромобили, отменяются или уменьшаются налоги.
- При определенной доработке электромобили могут частично или полностью подзаряжаться не от сети, а от других источников.
- Использование электромобиля создает ощущение независимости.

### НЕДОСТАТКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

- Максимальный пробег электромобиля от полного заряда до полного разряда аккумулятора меньше, чем пробег типичного автомобиля с полным баком горючего до его опустошения.
- При отрицательных температурах аккумулятор может частично разрядиться или не выдавать достаточный ток.
- Электромобиль может оказаться недостаточно мощным и надежным, если потребуются пользоваться им в суровых климатических условиях, особенно в заснеженных районах.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Конструкция электромобилей не предусматривает их использования в трудных условиях, таких как перевозка грузов или уборка снега.
- Безопасность электромобилей понижена из-за того, что они имеют облегченную конструкцию и небольшие размеры.
- В некоторых местностях получение сервисного обслуживания электромобилей может быть затруднено из-за отсутствия запчастей и квалифицированного персонала.

### Задача 8.1

Каким образом можно обеспечить комфортную температуру в салоне электромобиля, если снаружи слишком холодно или слишком жарко?

### Решение 8.1

В современных электромобилях используются тепловые насосы «воздух—воздух», чтобы поддерживать приемлемую температуру в салоне. Можно предварительно прогреть или охладить салон автомобиля, пока заряжается аккумулятор. Поможет также дополнительная термоизоляция. Однако если слишком холодно, то расход энергии на поддержание комфортной температуры в салоне приведет к уменьшению пробега электромобиля до подзарядки.

## Гибридные электромобили

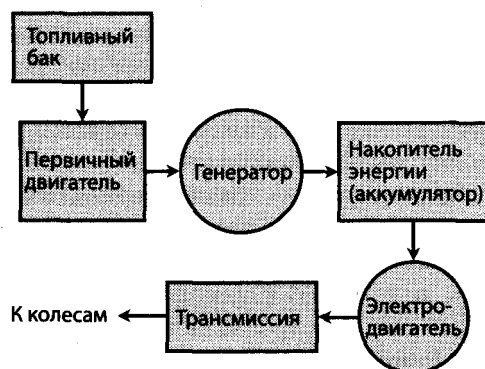
В гибридных электромобилях комбинируются электродвигатели и обычные двигатели. Гибридные электромобили конструктивно бывают двух основных типов — *последовательного* и *параллельного*.

## Гибридные электромобили последовательного типа

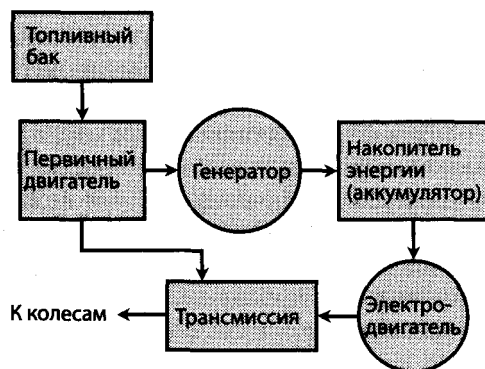
В гибридных электромобилях последовательного типа механическую энергию получают от электродвигателя, который питается от подзаряжаемого аккумулятора. В этом смысле он похож на простой электромобиль. Отличие состоит в том, что вместо внешнего источника для подзарядки аккумулятора в гибридных электромобилях используется собственная зарядная система, которая представляет собой электрогенератор, работающий от маленького двигателя. Оба они во время движения электромобиля функционируют непрерывно и в постоянном режиме. Двигатель может работать на бензине, метане, пропане, Е85, дизельном топливе, биодизеле или водороде.



На рисунке 8.3, А представлена функциональная схема гибридного электромобиля последовательного типа, которая иллюстрирует принцип его действия. Вместе с генератором в собственной зарядной системе используется преобразователь переменного тока в постоянный. Постоянный ток поступает в накопитель энергии, представляющий собой большой подзаряжаемый аккумулятор того же типа, который используется в электромобилях. Можно также подзаряжать аккумулятор от внешнего зарядного устройства во время стоянки электромобиля, чтобы поддерживать аккумулятор в полностью заряженном состоянии. Электромотор соединен с трансмиссией, которая похожа на систему приводов в электромобиле.



А



Б

Рис. 8.3. Функциональная схема гибридного электромобиля последовательного (А) и параллельного (Б) типов





Отличительной особенностью гибридных электромобилей последовательного типа является то, что они всегда работают от электромотора, а не от двигателя внутреннего сгорания. По этой причине скорость и ускорение таких гибридных электромобилей ограничены. Электромоторы в принципе не могут обеспечить столь быстрого увеличения тяги, как это делают двигатели внутреннего сгорания. Принципиальное преимущество гибридных электромобилей последовательного типа заключается в том, что они имеют маленькие двигатели внутреннего сгорания, что обеспечивает малое потребление топлива и минимальное выделение загрязняющих веществ.

### Гибридные электромобили параллельного типа

Замечательной особенностью гибридных электромобилей параллельного типа является то, что в них автомобиль работает непосредственно как от первичного двигателя, так и от электромотора. Они оба постоянно функционируют, а система управления автоматически выбирает, кто из них обеспечивает движение автомобиля на данном участке пути в зависимости от условий. Первичный двигатель обычно питается бензином или газохолом, хотя возможно использование альтернативного топлива, например, метана или пропана.

На рисунке 8.3, Б показано взаимодействие различных устройств в гибридных электромобилях параллельного типа. Так же как и в конструкции последовательного типа, вместе с генератором в собственной зарядной системе используется преобразователь переменного тока в постоянный, которым заряжается аккумулятор. Кроме собственной зарядной системы для подзарядки аккумулятора, можно также использовать внешнее зарядное устройство во время стоянки автомобиля. И электродвигатель, и первичный двигатель подсоединены к трансмиссии. При малых скоростях или когда нужна сравнительно небольшая мощность, чтобы обеспечить движение автомобиля (например, при спуске с горы), используется электромотор. При высоких скоростях (например, когда автомобиль едет в гору или обгоняет другой автомобиль) применяется двигатель внутреннего сгорания. Выбор между электромотором и двигателем осуществляется с помощью микрокомпьютера, определяющего, какой из них больше подойдет для данного участка пути, основываясь на величине *обратного давления* в системе приводов.

### РЕГЕНЕРАТИВНОЕ ТОРМОЖЕНИЕ

В электромобилях и гибридных электромобилях аккумулятор может получать дополнительную заряжающую энергию благодаря тех-



ническому решению, называемому *регенеративным торможением*, которое используется, когда автомобиль, например, едет вниз под уклон и нужно обеспечить его торможение, или вообще при необходимости затормозить. Суть этого технического решения заключается в том, что генератор и преобразователь переменного тока в постоянный подключаются к электронике системы приводов в качестве нагрузки и отбирают энергию вращающихся колес, которая в противном случае, при включении системы обычного торможения, была бы потрачена на нагрев тормозных барабанов. При отборе энергии снижается скорость вращения колес, что и соответствует эффекту торможения.

В электромобилях и гибридных электромобилях, оборудованных системой регенеративного торможения, микрокомпьютер определяет, когда мощность должна быть передана колесам, а когда — взята от них. Отдавая энергию генератору, колеса создают для него дополнительный крутящий момент, в результате появляется добавочная энергия для собственной зарядной системы. Таким образом, сокращается количество энергии, которое в противном случае потребовалось бы, чтобы зарядить аккумулятор от первичного двигателя или от внешнего зарядного устройства. Кроме того, уменьшается износ тормозов и продлевается срок их службы.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

- Использование гибридных электромобилей может помочь индустриально развитым странам уменьшить зависимость от иностранной нефти.
- Загрязнение, обусловленное гибридными электромобилями, меньше загрязнения, вызываемого автомобилями с двигателями внутреннего сгорания (при одинаковом пробеге), даже с учетом загрязнения, которое связано с использованием энергии электростанций и производства аккумуляторов.
- Стоимость энергии, необходимой для поездки на гибридном электромобиле, меньше, чем стоимость энергии, потребляемой при поездке на то же расстояние на автомобиле, работающем на ископаемом топливе, без учета его начальной стоимости.
- В некоторых районах для тех, кто пользуется автомобилями на альтернативном топливе, в том числе и гибридными электромобилями, отменяются или уменьшаются налоги.
- Гибридные электромобили могут работать на бензине, а могут обойтись и без него, т. е. обеспечить владельцу пользование автомобилем даже тогда, когда возникают перебои с бензином.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Концепция гибридных электромобилей параллельного типа может быть реализована и в большегрузных транспортных средствах, мощных грузовиках и автобусах. Все больше таких транспортных средств переоборудуется в соответствии с этой концепцией.

### НЕДОСТАТКИ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

- Типичные гибридные электромобили стоят дороже, чем обычные автомобили тех же размеров, хотя разница в стоимости постепенно уменьшается.
- Из-за сложности гибридных электромобилей бывает трудно найти компетентных специалистов для их обслуживания. Это на самом деле так в сельских местностях и в районах, где мало гибридных электромобилей.
- Многие детали и устройства гибридных электромобилей специфичны или выпускаются только производителями данной модели, поэтому их не всегда легко приобрести в отдаленных районах, в отличие от запчастей старых автомобилей с двигателями внутреннего сгорания.
- При очень холодной погоде аккумулятор гибридного электромобиля может работать ненадежно.

### Задача 8.2

Есть ли способ без использования аккумулятора запасти электрическую энергию, отобранную при спуске по крутому склону, когда нужно использовать торможение, и вообще при необходимости затормозить, чтобы потом эту запасенную энергию выделить в виде очень короткого импульса?

### Решение 8.2

Да. Это можно сделать с помощью *ультраконденсатора*<sup>2</sup>. Он может запастись значительно больший электрический заряд, чем обычный конденсатор, и разряжаться очень быстро, практически мгновенно. Это позволяет обеспечить короткий мощный импульс механической энергии от электромотора. Такие устройства применяются в некоторых сложных гибридных электромобилях.

---

<sup>2</sup> Принятое в России название — «конденсаторы с двойным электрическим слоем», или «ионисторы». — *Прим. пер.*



## Автомобили на водородном топливе

Самый легкий и наиболее распространенный элемент во Вселенной — это водород. Когда он горит в присутствии чистого кислорода, выделяется только тепловая энергия и водяной пар. При горении в атмосфере, содержащей около 71% азота, образуется также некоторое количество закиси азота. Возможно переоборудование обычных автомобилей на ископаемом топливе в *автомобили, работающие на водородном топливе* (также как возможна модификация обычных автомобилей, чтобы обеспечить их работу на метане или пропане).

### ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДА

Водород нужно выделять из различных природных соединений. В свободном состоянии водород в природе отсутствует. Самый общепринятый способ получения водорода — выделение его из метана в процессе *паровой конверсии метана*. Чтобы отделить водород от углеродной основы в метане, требуются пар и тепловая энергия, что и происходит в специальных паровых реформерах на каталитических поверхностях. В процессе паровой конверсии на первом этапе метан и водяной пар в присутствии никеля в качестве катализатора расщепляются на водород и окись углерода (побочный продукт), а на втором этапе окись углерода и вода превращаются в двуокись углерода (побочный продукт) и дополнительное количество водорода.

Другой известный метод — *электролиз* воды. Он обеспечивает получение чистого водорода в одну технологическую ступень. Молекула чистой воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода, соединенных химической связью. Эту связь можно разорвать, если пропустить через воду электрический ток. Для обеспечения процесса электролиза и увеличения способности воды пропускать ток к ней необходимо добавить *электролит* — поваренную соль, бикарбонат натрия или серную кислоту, чтобы увеличить ее электропроводимость. Если погрузить в раствор электролита два электрода и приложить к ним постоянное напряжение, то на отрицательном электроде появятся пузырьки водорода, а на положительном — пузырьки кислорода (рис. 8.4). Газ из этих пузырьков собирают и запасают. В процессе электролиза не выделяется никаких опасных побочных продуктов. Отметим, что для электролиза можно применять только постоянный ток, но не переменный, — не тот, который мы получаем из сетевой розетки. Дело в том, что если исполь-



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

зовать переменный ток, то и водород, и кислород будут появляться на обоих электродах и разделить их окажется невозможно.

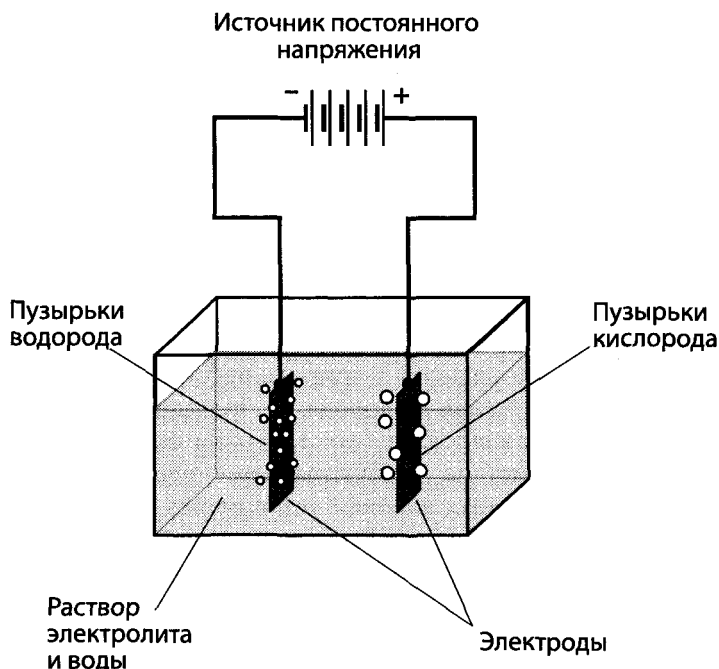


Рис. 8.4. Разделение воды на водород и кислород с помощью электролиза

Электролиз — это дорогой и неэффективный процесс. Чтобы получить водород методом электролиза, требуется в 1,5 раза больше энергии, чем будет выделено потом при полном сгорании полученного водорода. Для того чтобы производить водород путем электролиза в больших масштабах, было предложено использовать альтернативную энергетику — солнечные батареи и ветряные установки, и это выгодно в тех странах, которые обладают дешевыми ресурсами в этих областях. Для получения большого количества водорода не требуется много воды, кроме того, во многих странах существуют соленые озера, которые уже содержат необходимые для электролиза вещества.

Существуют также и другие методы электролиза, позволяющие разделить молекулу воды для получения водорода. В этих методах используются определенные химические соединения и/или подо-



грев. Разрабатываются также методы получения водорода из угля или биомассы, содержащих большое количество *углеводов*<sup>3</sup>.

### ХРАНЕНИЕ ВОДОРОДА

Резервуар для хранения водорода — это еще одна техническая проблема, которая должна быть решена для того, чтобы водород нашел практическое применение в качестве топлива для автомобилей. Водород можно сжать и закачать в металлический баллон так же, как это делается с другими газами. Но для того чтобы иметь количество водородного топлива, которое позволит автомобилю проехать приемлемое расстояние между заправками, баллон должен быть настолько большим и тяжелым, что эффективность автомобиля окажется низкой. Кроме того, баллоны со сжатым водородом могут представлять реальную опасность. В случае, если горлышко баллона отломится, выходящий под большим давлением водород превратит баллон в смертоносную ракету. Поэтому одна из важнейших задач научно-исследовательских работ в этой области — найти безопасный и эффективный способ хранения водорода под высоким давлением в резервуарах приемлемых размеров и массы.

Разрабатываются новые технологии хранения водорода. Одна из технологий основана на использовании *металл-гидридов* — соединений металла и водорода, из которых водород при определенных условиях может выделяться с управляемой скоростью. Еще одна технология основана на применении массивов сверхмалых углеродных структур — *нанотрубок*<sup>4</sup>. Водород может конденсироваться внутри

---

<sup>3</sup> Во всех процессах получения водорода разложением воды в качестве побочного продукта будет выделяться значительное количество кислорода. Это даст новые стимулы его применения не только как ускорителя технологических процессов, но и как незаменимого очистителя и оздоровителя водоемов, промышленных стоков. Эта сфера использования кислорода может быть распространена на атмосферу, почву, воду. Сжигание в кислороде растущего количества бытовых отходов сможет решить проблему твердых отходов больших городов. Еще более ценным побочным продуктом электролиза воды является тяжелая вода — хороший замедлитель нейтронов в атомных реакторах. Кроме того, тяжелая вода используется в качестве сырья для получения дейтерия, который, в свою очередь, является сырьем для термоядерной энергетики. — *Прим. пер.*

<sup>4</sup> *Нанотрубки* — это большие (а иногда и гигантские) молекулы, состоящие исключительно из атомов углерода. Главная особенность этих молекул — это их каркасная форма: они выглядят как замкнутые, пустые внутри «оболочки». — *Прим. пер.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

нанотрубок с уровнем плотности, сравнимым с тем, который создается в самых лучших баллонах. При этом не возникает опасности, которая всегда существует при использовании баллонов. Использование нанотрубок позволяет обеспечить управляемое выделение водорода, который можно употреблять непосредственно в качестве топлива. Обе эти технологии на момент написания данной книги находятся на стадии проведения научно-исследовательских работ.

### ПРЕИМУЩЕСТВА АВТОМОБИЛЕЙ НА ВОДОРОДНОМ ТОПЛИВЕ

- Водород при горении в среде чистого кислорода не выделяет никаких загрязняющих веществ.
- Массовое производство и использование водорода может облегчить проблемы, связанные с меняющимися ценами и перепадами в поставках обычных видов топлива.
- Рост производства водорода мог бы, как дополнительный выигрыш, стимулировать рост поставок водорода для отопления домов и офисов.
- Во многих странах, включая США, уже существуют сети трубопроводов для метана. Некоторые из них можно было бы адаптировать для прокачки водорода и доставки его к заправочным станциям.
- Водород можно получать как в малых масштабах на местных предприятиях, так и массово на крупных централизованных производствах. Это способствует повышению безопасности цивилизованного мира благодаря распределению энергетических ресурсов и благ в его пределах.

### НЕДОСТАТКИ АВТОМОБИЛЕЙ НА ВОДОРОДНОМ ТОПЛИВЕ

- В горючей форме водород при комнатной температуре и нормальном давлении представляет собой газ. Это вызывает трудности при его хранении, переноске и перевозке. Особенно сложная проблема — это конструирование безопасных баллонов или других резервуаров для автомобилей на водородном топливе.
- На момент написания этой книги водород не распространен широко на заправочных станциях в большинстве стран, включая США.
- Баллоны с водородом требуют периодической проверки и сертификации. Это может выполняться только квалифицированным персоналом, имеющим лицензию.



- На момент написания этой книги водород считается достаточно дорогим топливом, в основном из-за высокой стоимости процессов, необходимых для выделения его природных соединений — метана и воды.

### Задача 8.3

Какое расстояние может преодолеть автомобиль на водороде, полученном методом электролиза из 1 л воды?

### Решение 8.3

Автомобиль на водородном топливе, работающий с высокой эффективностью, может проехать то же расстояние на водороде, полученном из 1 л воды, что и обычный автомобиль тех же размеров на 1 л бензина.

## Автомобили на топливных элементах

Как вы убедились, водород, метан, пропан и другие виды топлива можно просто сжигать, чтобы обеспечить движение автомобиля. Однако их можно использовать и не в такой непосредственной форме, а в виде изготовленных по специальной технологии *топливных элементов*.

Автомобили, которые на них работают, так и называют — *автомобили на топливных элементах*.

### ЧТО ТАКОЕ ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ?

В конце XX века появился новый вид электрохимических источников питания, которые можно отнести к области альтернативной энергетики, — *топливные элементы*. Наибольшее внимание на первых этапах научно-исследовательских работ уделялось *водородным топливным элементам*.

Как показывает название, электричество они вырабатывают, используя водород. Процесс состоит в том, что водород соединяется с кислородом (т. е. *окисляется*), при этом выделяется тепловая энергия и образуется вода, а также немного закиси азота, если использовался атмосферный воздух. После того как водородный топливный элемент начинает производить ток, все, что требуется, — это добавлять водород.

Таким образом, процесс горения водорода заменяется в топливных элементах процессом окисления, который является более контролируемым и происходит при существенно более низкой темпе-





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

ратуре<sup>5</sup>. Существует несколько технических решений реализации такого процесса. Один из наиболее широко распространенных вариантов — это топливные элементы с *протонно-обменными мембранами* (ПОМ). Один такой топливный элемент обеспечивает постоянное напряжение примерно 0,7 В, т. е. чуть меньше половины напряжения типичного электрохимического сухого элемента. Для того чтобы получить большее напряжение, одиночные элементы соединяются последовательно. При этом напряжение, обеспечиваемое отдельными элементами, суммируется. Например, чтобы получить постоянное напряжение 14 В, необходимо соединить последовательно 20 элементов. Комплект соединенных последовательно топливных элементов, представляющий собой, по сути, аккумулятор, называется *стэк*. Чтобы увеличить емкость и вырабатываемый ток, топливные элементы, или стэки, нужно соединить параллельно. При этом ток от отдельных топливных элементов, или стэков, будет суммироваться; например, если соединить параллельно пять стэков, каждый из которых обеспечивает постоянное напряжение 14 В и ток до 10 А, то полученное устройство будет выдавать постоянное напряжение 14 В, а ток — до 50 А.

Стэки из топливных элементов могут быть разных размеров. Стэк, имеющий размеры кейса с книгами, может питать маленький электромобиль. Топливные элементы меньших размеров, называемые *микротопливными элементами*, могут использоваться для питания любых устройств, которые работают на обычных элементах питания: ноутбуков, портативных радиоприемников, электрических фонариков.

Водород — не единственное вещество, которое может применяться для создания топливных элементов. Были проведены исследования почти всех веществ, которые могут вступать в реакцию с кислородом с выделением энергии. Созданы топливные элементы на *метаноле* (метиловом спирте), который имеет преимущества перед водородом, так как он проще в хранении и транспортировке, потому что находится при комнатной температуре в жидком состоянии. В топливных элементах применялся пропан. Он хранится в баллонах для кухонных плит или обогревателей, используемых в сельских местностях. Нашел свое применение и метан. Однако некоторые ученые и инженеры возражают против пропана и метана, так как общество уже

---

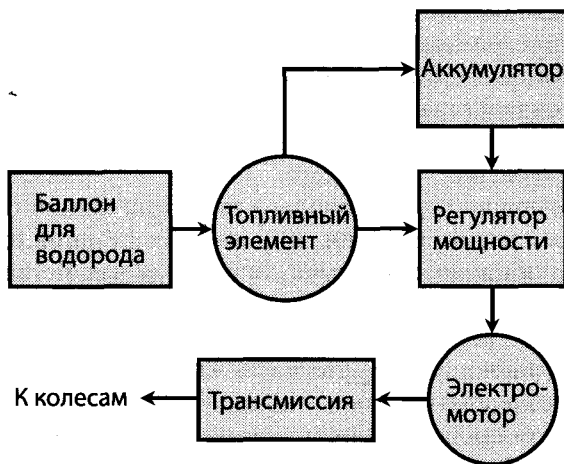
<sup>5</sup> С точки зрения химии, горение и окисление — это один и тот же тип реакций: горение — это *быстрая* реакция окисления. — Прим. ред.



слишком сильно от них зависит, при том что относить их к «чистым» альтернативным видам топлива нельзя.

### КАК РАБОТАЮТ АВТОМОБИЛИ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Автомобили на топливных элементах — это, по существу, электроавтомобили, в которых используется топливный элемент вместо аккумулятора или вместе с ним. На рисунке 8.5 представлена функциональная схема автомобиля на водородных топливных элементах. Электродвигатель соединен с колесами с помощью системы приводов, похожей на трансмиссию в автомобиле на ископаемом топливе. Скорость автомобиля зависит от скорости, с которой вращается вал двигателя, а также от коэффициента передачи между двигателем и колесами.



**Рис. 8.5.** Функциональная схема автомобиля на водородных топливных элементах

Электродвигатель питается электричеством, получаемым от топливных элементов, а в некоторых моделях — и от подзаряжаемого аккумулятора. В то же время аккумулятор может подзаряжаться и от топливных элементов, а также от системы регенеративного торможения того же типа, который используется в усовершенствованных электроавтомобилях и гибридных электроавтомобилях. Вообще очень удобно иметь аккумулятор, который позволит проехать определенное расстояние, даже если топливо закончилось.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

В типичном автомобиле на топливных элементах около 50% энергии, содержащейся в водороде, может преобразоваться в полезную энергию. Оставшаяся энергия превращается в тепло, которое должно быть рассеяно системой охлаждения, конструктивно напоминающей радиатор в автомобиле на ископаемом топливе. Так как водород горит чище, чем ископаемое топливо, то очевидно, что хорошо сконструированный автомобиль на водородных топливных элементах будет иметь больший коэффициент полезного действия, чем традиционный автомобиль на ископаемом топливе, хотя в то же время и несколько меньший, чем автомобиль на водородном топливе, в котором происходит непосредственное сжигание водорода для обеспечения работы двигателя.

### ПРЕИМУЩЕСТВА АВТОМОБИЛЕЙ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

- Использование автомобилей на топливных элементах может помочь индустриально развитым странам уменьшить зависимость от использования иностранной нефти.
- Рост производства водорода мог бы, как дополнительный выигрыш, стимулировать рост поставок водорода для отопления домов и офисов.
- Существующие трубопроводы для метана можно было бы адаптировать для обеспечения заправочных станций для автомобилей на топливных элементах, используя как метан, так и водород в качестве топлива.
- Суммарное загрязнение, обусловленное автомобилями на топливных элементах, — это лишь часть загрязнения, порождаемого автомобилями с двигателями на ископаемом топливе (при одинаковом пробеге), даже с учетом загрязнения, которое связано с производством водорода и изготовлением аккумуляторов.
- Водород можно выпускать в малых объемах на местных предприятиях.
- В некоторых районах для тех, кто использует автомобили на альтернативном топливе, в том числе и автомобили на топливных элементах, отменяются или уменьшаются налоги.

### НЕДОСТАТКИ АВТОМОБИЛЕЙ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

- Максимальный пробег автомобиля на водородных топливных элементах меньше, чем пробег автомобиля на ископаемом топливе. Если используются другие топливные элементы (например, на метане или пропане), то максимальный пробег автомо-



билей на топливных элементах и автомобилей на ископаемом топливе будет сравним.

- В некоторых районах получение сервисного обслуживания автомобилей на топливных элементах может быть затруднено из-за отсутствия запчастей и квалифицированного персонала.
- Проблема хранения топлива в автомобиле на водородных топливных элементах представляет серьезное препятствие для широкого распространения этих автомобилей.
- Автомобили на водородных топливных элементах достаточно дороги в эксплуатации, в основном из-за стоимости процессов, необходимых для выделения водорода из природных соединений.

### Задача 8.4

Если водород можно непосредственно сжигать в двигателе внутреннего сгорания в автомобиле на водородном топливе, то зачем использовать в автомобилях топливные элементы на водороде как дополнительное звено, когда автомобиль и так будет работать? Не является ли это лишней ступенью, просто снижающей коэффициент полезного действия?

### Решение 8.4

Существуют две причины, по которым автомобили на водородных топливных элементах могут быть предпочтительнее автомобилей на водородном топливе. Во-первых, топливные элементы можно использовать при столь низких температурах, при которых двигатели внутреннего сгорания на водороде не могут работать. Кроме того, в автомобиле на водородных топливных элементах можно установить аккумулятор, непосредственно от которого электродвигатель будет получать энергию. Аккумулятор также позволяет запасать энергию от системы регенеративного торможения. Таким образом, в автомобиле на водородных топливных элементах объединились несколько достоинств, свойственных электромобилям, гибридным электромобиям и автомобилям на водородном топливе, вместе взятым.

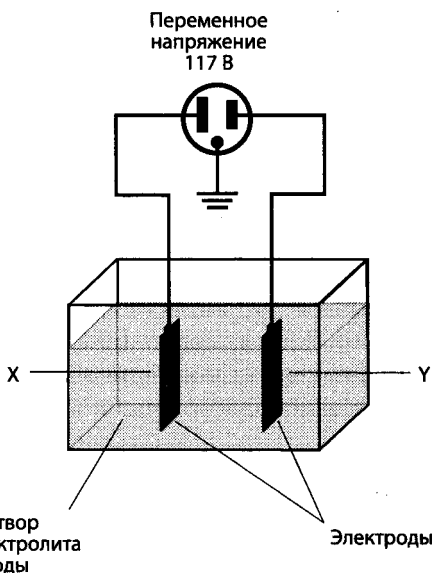
## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отвечая на эти вопросы, вы можете пользоваться текстом книги. Восемь правильных ответов — хороший результат. Ответы помещены в конце книги.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

1. Какое из нижеприведенных утверждений о водороде неправильно?  
(а) при его горении в среде чистого кислорода выделяется только энергия и вода;  
(б) это самый легкий элемент во Вселенной;  
(в) его легко обнаружить в свободном состоянии, так же как нефть и природный газ;  
(г) это наиболее часто встречающийся элемент во Вселенной.
2. Сколько топливных элементов с ПОМ нужно соединить последовательно, чтобы получить стэк, который обеспечит постоянное напряжение 50 В?  
(а) 72;  
(б) 36;  
(в) 18;  
(г) невозможно получить постоянное напряжение 50 В, соединив последовательно топливные элементы с ПОМ.
3. Рассмотрим устройство, представленное на рис. 8.6. Предположим, что с его помощью можно провести процесс электролиза. Если это так, то что неправильно на рисунке?





- (а) все правильно;
  - (б) напряжение слишком высокое;
  - (в) полярность напряжения неправильная;
  - (г) напряжение должно быть постоянным, а не переменным.
4. Если устройство, показанное на рис. 8.6, используется точно так, как это показано на рисунке, то что должно появиться на электроде Х?
- (а) ничего;
  - (б) пузырьки водорода;
  - (в) пузырьки кислорода;
  - (г) пузырьки водорода и кислорода.
5. Если устройство, показанное на рис. 8.6, используется точно так, как это показано на рисунке, то что должно появиться на электроде У?
- (а) ничего;
  - (б) пузырьки водорода;
  - (в) пузырьки кислорода;
  - (г) пузырьки водорода и кислорода.
6. Свинцовый аккумулятор в гибридном электромобиле нельзя подзарядить с помощью:
- (а) внешнего зарядного устройства;
  - (б) электролиза;
  - (в) солнечной батареи на крыше;
  - (г) регенеративного торможения.
7. Что из нижеприведенного является преимуществом никель-металлгидридного аккумулятора перед никель-кадмиевым аккумулятором?
- (а) никель-металлгидридный аккумулятор может вырабатывать как переменное напряжение, так и постоянное;
  - (б) никель-металлгидридный аккумулятор может запасти больше энергии на единицу объема;
  - (в) никель-металлгидридный аккумулятор в большей степени обладает свойством памяти;
  - (г) ничего из вышеперечисленного; никель-кадмиевый аккумулятор лучше никель-металлгидридного аккумулятора.
8. Что из нижеприведенного демонстрирует существенный недостаток водорода в качестве топлива для непосредственного сгорания в среде чистого кислорода в двигателях автомобилей?



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- (а) он может выделять слишком большую мощность;
  - (б) он выделяет газ сульфид водорода;
  - (в) он выделяет много закиси азота;
  - (г) он дорог при производстве, хранении и транспортировке.
9. Свинцовые аккумуляторы при неправильной утилизации могут вызвать загрязнение окружающей среды в виде:
- (а) выделения закиси азота;
  - (б) загрязняющих частиц;
  - (в) загрязнения тяжелыми металлами;
  - (г) адсорбции водорода.
10. В каких из нижеприведенных единиц выражается емкость никель-металлгидридного аккумулятора (речь идет о токе, вырабатываемом за определенное время)?
- (а)  $B \times \text{ч}$ ;
  - (б)  $A \times \text{ч}$ ;
  - (в)  $B\text{т} \times \text{ч}$ ;
  - (г)  $\text{кВт} \times \text{ч}$ .

# Глава 9

## Экзотические силовые установки (двигатели на нестандартных принципах)

В этой главе мы рассмотрим альтернативные принципы тяги для трех видов транспорта, обещающих привлечь наибольшее внимание в ближайшем будущем: поездов, кораблей и космических аппаратов. Для поездов наиболее перспективным представляется принцип *магнитной подушки (магнитного подвеса)*. В судостроении можно ожидать возрождения *ядерных* двигателей. В качестве двигателей космических кораблей могут использоваться *ионные ракеты, водородные термоядерные двигатели и солнечные паруса*.

### Магнитный подвес

Магнитный подвес предполагает использование силы магнитного поля для перемещения объектов над неподвижной основой (средой). Эта технология основана на свойствах взаимного отталкивания объектов с одноименным магнитным полюсом (т. е. юг—юг и север—север). Такие объекты отталкиваются друг от друга тем сильнее, чем они ближе.

#### ТЕОРЕМА ИРНШОУ

Представим, что мы разместили около ста небольших магнитов размером с таблетку северным полюсом вверх на равном расстоянии *внутри* пластиковой чаши. В результате мы получим большой магнит с вогнутой северной поверхностью. Зафиксируем эту чашу на столе и поместим над ее центром небольшой магнит в виде таблетки северным полюсом вниз, как показано на рис. 9.1, А. Как только вы отпустите его, он перевернется и притянется к одному из магнитов внутри чаши.

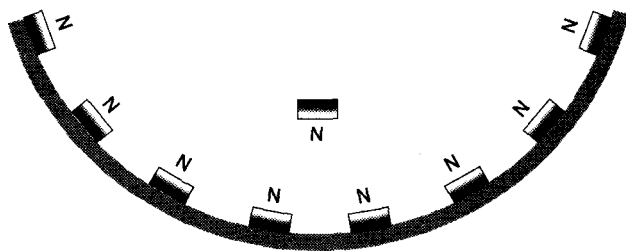
Теперь разместим такие же сто магнитов сходным образом (северным полюсом вверх) *снаружи* похожей чаши несколько меньшего размера. Мы получим большой магнит с выпуклой северной поверх-



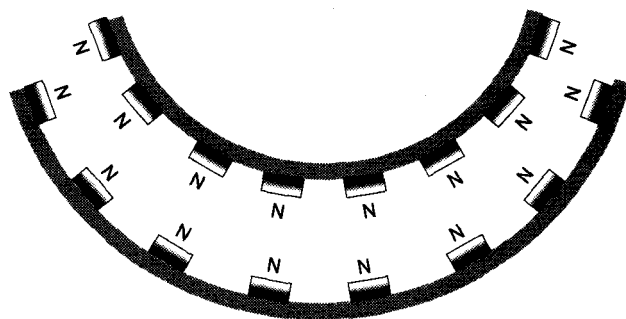


## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

ностью. Попробуем поместить вторую чашу внутрь первой, как показано на рис. 9.1, Б. Она не повиснет над ней в воздухе, как можно было бы ожидать, но упадет на дно, сместившись в любую сторону от центра. Если поместить на обе чаши достаточное количество одноименных магнитов, чтобы этому воспрепятствовать, верхняя чаша «выпрыгнет» из нижней и упадет в стороне от нее.



А



Б

**Рис. 9.1.** Если попытаться «подвесить» магнит над набором других магнитов, как показано на рис. А, он перевернется и притянется к одному из магнитов снизу. Стабильной левитации невозможно добиться и в конструкции из двух «магнитных чаш», расположенных одна над другой, как показано на рис. Б

Магнитный подвес, также называемый левитацией в магнитном поле, невозможно получить, пользуясь статическими (не находящи-



мися в движении или не вращающимися) постоянными магнитами. Подобная система всегда нестабильна, и эта нестабильность усиливается при малейшем внешнем воздействии. В XIX веке этот факт был доказан Сэмюэлем Ирншоу в *теореме Ирншоу*<sup>1</sup>. Однако в конечном счете получить магнитный подвес все-таки возможно. Теорема Ирншоу исходит из жесткого набора допущений, и некоторые системы позволяют обойти ее ограничения. Теорема Ирншоу применима только к системам, состоящим исключительно из постоянных магнитов, находящихся в покое относительно друг друга. В последние годы физики разработали динамические (движущиеся) системы магнитов, которые способны обеспечить подвес. Некоторые из них применяются в поездах на магнитной подушке.

### СИСТЕМЫ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ (КОМПЕНСАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ)

Вернемся к схеме 9.1, Б. На практике вам никогда не удастся долго подвесить верхнюю чашу в пространстве над нижней. Однако предположим, что у вас есть система обратной связи, которая позволяет поддерживать верхнюю чашу на одной оси с нижней.

Вот простейший пример *электромеханической системы обратной связи*, которая обеспечивает магнитный подвес в известной нам системе двух чаш. Электронный *датчик положения* испускает *сигнал ошибки*, приводя в действие механический *регулятор положения*, который возвращает верхнюю чашу на место. Пока верхняя чаша находится точно над центром нижней (рис. 9.2, А), датчик положения испускает нулевой сигнал. Верхняя чаша стремится наклониться или сдвинуться в сторону из-за нестабильности системы (рис. 9.2, Б). Как только верхняя чаша отклоняется от начального положения, датчик положения испускает сигнал, описывающий величину и направление смещения. Этот сигнал состоит из двух компонентов: *сигнала дистанционного смещения*, усиливающегося по мере увеличения расстояния верхней чаши от центра, и *сигнала направления смещения*, показывающего, в какую сторону от центра отклоняется верхняя чаша. Эти сигналы считываются микрокомпьютером, который управляет механическим устройством, сдвигающим верхнюю чашу с правильной силой и в правильном направлении обратно к центру системы, на одну ось с нижней.

<sup>1</sup> Теорема Ирншоу — одна из основных теорем электростатики, согласно которой система покоящихся точечных зарядов, находящихся на конечном расстоянии друг от друга, не может быть устойчивой. — *Прим. пер.*

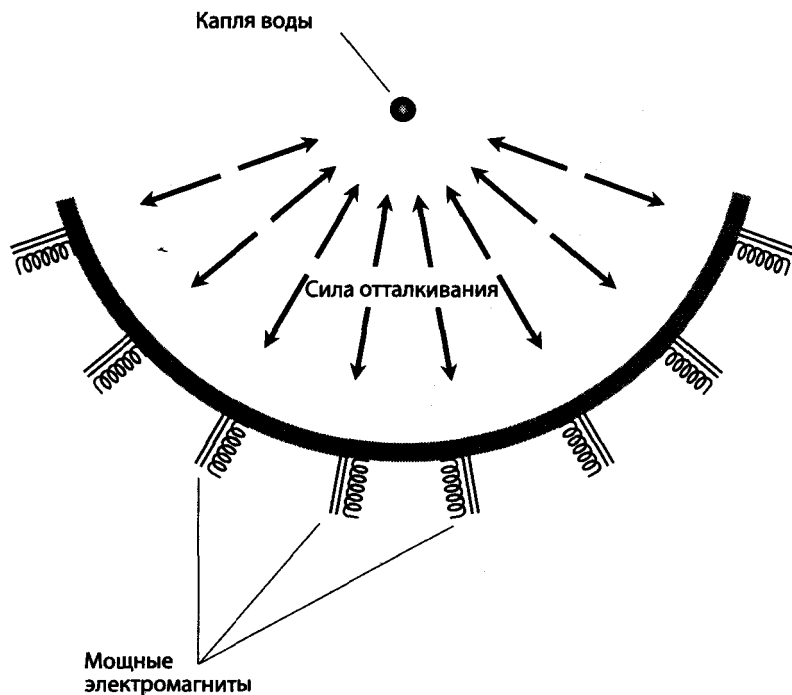


**Рис. 9.2.** Компенсационная система (система обратной связи) поддерживает устойчивую центровку двух чаш с магнитами, обеспечивая эффект магнитной левитации. На рисунке А чаши центрированы. На рисунке Б нестабильность системы вызывает смещение верхней чаши. На рисунке В корректирующий импульс компенсационной системы возвращает верхнюю чашу на одну ось с нижней



## ДИАМАГНЕТИЗМ

Некоторые вещества, известные как *диамагнетики*, способны ослаблять магнитное поле. Иными словами, они очень слабо намагничиваются. Находясь в магнитном поле, эти вещества вызывают расхождение *линий магнитной индукции*. Эффект диамагнетизма противоположен привычному для нас явлению *ферромагнетизма*. *Ферромагнетики*, такие как железо, концентрируют (стягивают) линии магнитной индукции в магнитном поле и намагничиваются сильно — на этом основан принцип действия электромагнитов.



**Рис. 9.3.** Эффект магнитной левитации достигается за счет взаимодействия мощных электромагнитов с диамагнетиком, например, с каплей воды

Диамагнетик — например, дистиллированная вода — при определенных условиях может способствовать возникновению эффекта магнитной левитации. Диамагнетик отталкивается от любого полюса постоянного магнита, тогда как ферромагнетик (например, железный гвоздь), наоборот, притягивается к обоим полюсам. Сила, с которой



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

диамагнетик отталкивается от магнита, слишком слаба, чтобы ее можно было заметить в случае с обычными магнитами из-за того, что они сами производят недостаточно сильное магнитное поле. Однако эффекта магнитной левитации диамагнетика можно добиться, если поместить легкий диамагнетик внутри той же чаши с мощными электромагнитами, как показано на рис. 9.3. Так, в лабораторных условиях подобным методом можно подвесить в воздухе каплю дистиллированной воды. Конечно, для левитирования таких тяжелых объектов, как поезда, например, этой силы недостаточно. Для того чтобы получить достаточное отталкивание на основе диамагнетизма, необходимо использовать еще один эффект: способность некоторых веществ становиться идеальными электрическими проводниками при сверхнизких температурах.

### СВЕРХПРОВОДНИКИ

При температурах, близких к абсолютному нулю (около  $-273,15^{\circ}\text{C}$ ) некоторые металлы<sup>2</sup> полностью теряют электрическое сопротивление. Подобный материал называется *сверхпроводником*, а эффект нулевого сопротивления (или абсолютной проводимости) — *сверхпроводимостью*. По замкнутому сверхпроводящему проводу электрический ток может долгое время циркулировать без заметного снижения силы.

Магнитная левитация с использованием сверхпроводника становится возможной благодаря тому, что в такой среде поток магнитной индукции практически отсутствует. Линии магнитной индукции рассеиваются настолько, что практически отсутствуют в сверхпроводнике, т. е. магнитное поле из материала вытесняется почти полностью. Этот эффект называется абсолютным диамагнетизмом, или, точнее, *эффектом Мейснера*, в честь одного из его первооткрывателей, Вальтера Мейснера<sup>3</sup>, впервые наблюдавшего его в 1933 году.

Эффект Мейснера привлек внимание инженеров, разрабатывающих средства передвижения на основе магнитной левитации, к сверхпроводникам. Сверхпроводящий диамагнетик обладает гораздо большей отталкивающей силой (при равном значении интенсивности магнитного поля), чем любой другой диамагнетик. Отталкивание происходит независимо от ближайшего магнитного полюса, поэтому

---

<sup>2</sup> В принципе эффект сверхпроводимости присущ не только металлам. — *Прим. пер.*

<sup>3</sup> Эффект вытеснения магнитного поля Мейснер наблюдал совместно с Робертом Оксенфельдом. — *Прим. пер.*

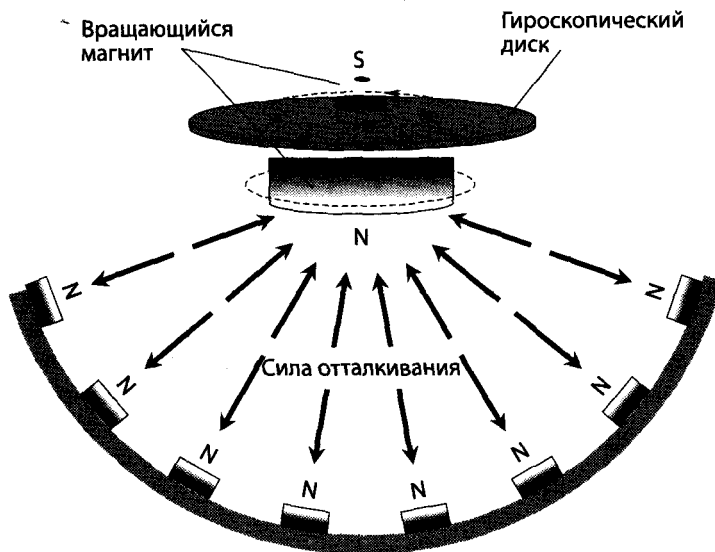


такой системе не угрожает нестабильность, характерная для систем, показанных на рис. 9.1 и 9.2.

## РОТАЦИЯ

Схема, подобная показанной на рис. 9.1, А, будет работать, если верхний магнит вращается с большой скоростью. Вращение позволяет ему быть своего рода стабилизирующим *гироскопом*. К верхнему магниту прикрепляется диск из неферромагнитного материала (т. е. из материала, который не намагничивается) для усиления гироскопического эффекта.

Рисунок 9.4 иллюстрирует эту схему. При достаточно высокой скорости вращения верхний магнит балансирует на взаимно отталкивающихся магнитных полях — своем и набора нижних магнитов. Потрясающий пример действующей конструкции, созданной по этому принципу, — игрушка под названием LEVITRON. Описание принципа ее действия можно найти на сайте [www.levitron.com](http://www.levitron.com).



**Рис. 9.4.** Вращающийся магнит с гироскопическим диском способен левитировать над набором неподвижных магнитов (размер верхнего магнита увеличен для большей наглядности)

Система, подобная показанной на рис. 9.4, не противоречит положениям теоремы Ирншоу, поскольку та приложима только к не-

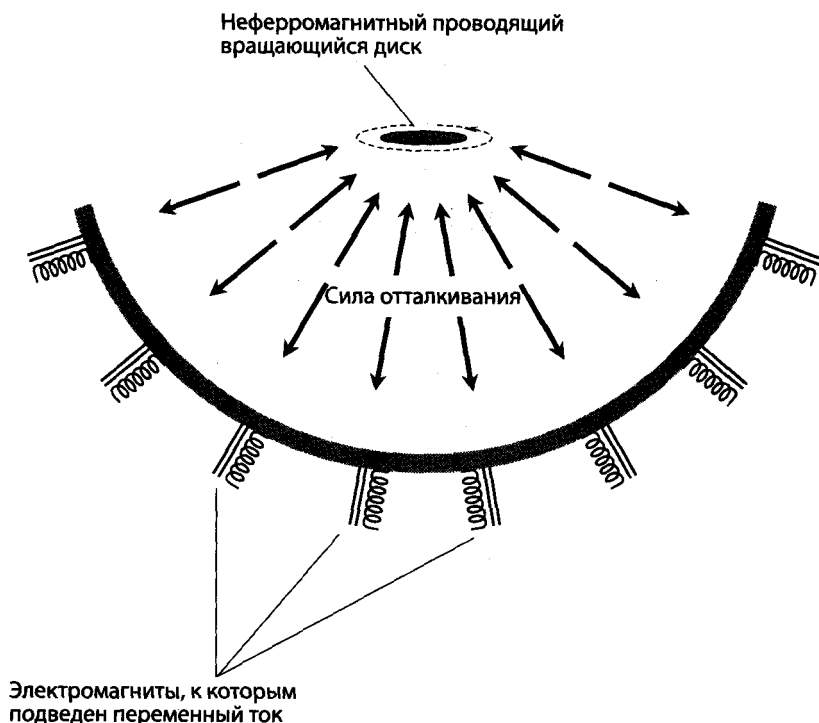


## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

подвижным магнитам. Тем не менее эта система ненадежна. *Угловая скорость* (скорость вращения) верхнего магнита должна сохраняться в определенных рамках, а сам магнит — иметь четко определенную форму. Со временем сопротивление воздуха затормозит вращающийся магнит, гироскопический эффект вследствие этого пропадет и верхний магнит перевернется и примагнитится к нижним.

### КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ПОЛЕ

Объект, проводящий электрический ток, но не сильно притягивающий (концентрирующий) линии магнитной индукции (парамагнетик), такой как, например, алюминиевый диск, в колебательном поле приобретает диамагнетические свойства. Такое поле создается набором электромагнитов, к которым подведен переменный ток высокой частоты.



**Рис. 9.5.** Вращающийся диск из проводящего электрический ток неферромагнитного материала левитирует над набором электромагнитов, к которым подведен переменный ток



Диск соответствующей формы, сделанный из неферромагнитного материала (например, алюминия), способен левитировать над набором таких электромагнитов, как показано на рис. 9.5.

В данном случае левитация становится возможной благодаря *вихревым токам*, возникающим в проводящем диске. Вихревые токи создают вторичное магнитное поле, которое противодействует первоначальному колебательному полю, созданному набором неподвижных электромагнитов переменного тока. Диск, таким образом, становится «антимагнитом». Вращение обеспечивает стабилизирующий, гироскопический эффект, поэтому диск не переворачивается. Диск сохраняет свою позицию в центре конструкции (если он прежде всего помещен именно на ее центральную ось) до тех пор, пока к нему не приложена сила (помеха), достаточная для того, чтобы его сместить.

Постепенно из-за сопротивления воздуха скорость вращения диска упадет и система утратит стабильность. Эту проблему можно решить, поместив всю систему в вакуум. То же самое можно проделать и со схемой с вращающимся магнитом, описанной в предыдущем разделе. Теоретически это позволит такой системе функционировать вечно, однако на практике со временем она все же перестанет работать из-за неизбежной потери энергии при трении.

### Maglev — поезд на магнитной подушке

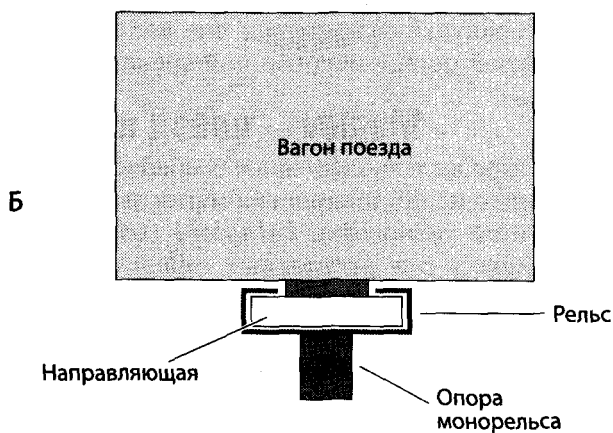
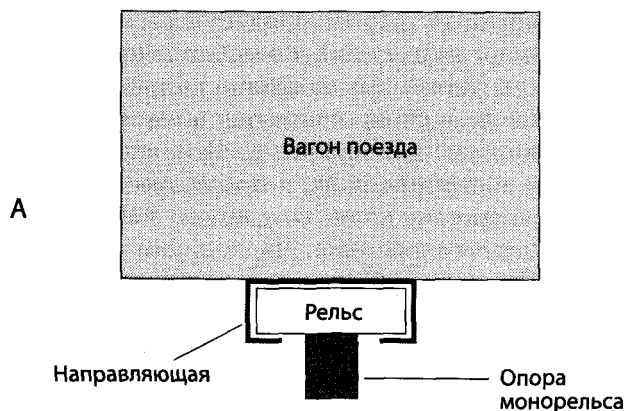
Высокоскоростное железнодорожное сообщение — одно из самых захватывающих применений технологии магнитного подвеса (левитации). На основе этой технологии (*Maglev*) созданы пассажирские поезда, применяющиеся для регулярных городских поездок. В этих транспортных системах чаще всего используются диамагнетические свойства сверхпроводников, но изредка применение находят и различные подвиды ротационных систем, описанных выше.

#### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Колеса вагонов поезда на магнитной подушке не соприкасаются с рельсами. Трение происходит только вследствие сопротивления воздуха вагонам мчащегося на подвесе над монорельсом состава. Зазор между поездом и рельсом составляет от 2 до 3 см.

Левитация вагонов на сверхпроводниковом магнитном подвесе осуществляется по одному из двух принципов, показанных на рис. 9.6. Согласно схеме А, вагоны прикрепляются к направляющей, охватывающей рельс. На схеме Б вы видите другую конструкцию, где рельс охватывает направляющую, к которой прикреплены вагоны.





**Рис. 9.6.** Поперечный разрез конфигурации поезда на электромагнитной подушке (упрощенная схема). На схеме А вагоны левитируют над направляющей, охватывающей рельс. На схеме Б направляющая левитирует внутри охватывающего ее рельса. В обоих случаях направление движения поезда перпендикулярно плоскости страницы

В обоих случаях вагоны поддерживаются над рельсом благодаря вертикальному (вертикально направленному) магнитному полю, а горизонтальное магнитное поле стабилизирует вагоны, сохраняя



центровку. Ускорение и торможение осуществляются при помощи *линейных индукторных двигателей*, для чего на рельс необходимо установить дополнительный набор электромагнитов.

Альтернативная описанной система под названием Inductrack предусматривает установку в вагонах постоянных магнитов и витков провода — на рельс. Движение вагонов относительно рельса приводит к возникновению эффекта левитации по аналогии с эффектом зависания крутящегося проводящего диска над набором неподвижных магнитов. Поезд начинает свое движение на небольших обычных колесах. По мере того как он набирает ход, сила тока в обмотке рельса становится достаточной для создания магнитного поля, отталкивающего постоянные магниты, установленные в вагонах поезда. Ускорение и торможение поездов Inductrack, как и в случае с поездами типа Maglev, осуществляется при помощи линейных индукторных двигателей.

### **ПРЕИМУЩЕСТВА ПОЕЗДОВ НА МАГНИТНОЙ ПОДУШКЕ**

- Поезда на магнитной подушке способны развивать большую скорость, чем обычные поезда.
- Поезда на магнитной подушке производят меньше шума, чем обычные поезда.
- Поезда на магнитной подушке сокращают время в пути для пассажиров.
- Поезда на магнитной подушке используют источники электрической энергии, в меньшей степени загрязняющие атмосферу.

### **НЕДОСТАТКИ ПОЕЗДОВ НА МАГНИТНОЙ ПОДУШКЕ**

- Поезда на магнитной подушке стоят дороже, чем обычные поезда.
- Поезда на магнитной подушке требуют особого обучения персонала.
- Поезда на сверхпроводниковой магнитной подушке используют для создания левитации мощные электромагниты, установленные на рельсе. При этом возникает задача экранировать пассажиров от воздействия сильных магнитных полей.
- Неожиданное падение напряжения приведет к тому, что вагоны поезда на сверхпроводниковой магнитной подушке опустятся на рельс. На большой скорости это может быть опасным (при эксплуатации поездов типа Inductrack такие проблемы не возникают, так как колеса поезда позволяют вагонам двигаться по инерции до полной остановки).



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Сильный боковой порыв ветра может нарушить работу поезда на магнитной подушке, сместив вагоны и заставив их прийти в соприкосновение с рельсом. Снег или лед на рельсе также могут вызвать проблемы.

### Задача 9.1

Как изолировать пассажиров от воздействия сильных магнитных полей в поезде на сверхпроводниковых магнитных подушках?

### Решение 9.1

Вагоны или, по крайней мере, купе могут быть сделаны из ферромагнитного материала (стали, например), блокирующего линии магнитной индукции. К сожалению, сталь гораздо тяжелее алюминия, обычно использующегося при производстве поездов. Алюминий не является ферромагнетиком и не обеспечивает защиты от магнитных полей, если к нему не подвести токи высокого напряжения, потенциально опасные для пассажиров.

### Задача 9.2

Преодолеет ли поезд на магнитной подушке крутой холм или гору? Не скатится ли он вниз по склону и не останется ли в долине, если отсутствует трение, необходимое для торможения?

### Решение 9.2

Линейные индукционные двигатели, применяемые в поездах на магнитной подушке, способны поднимать такие поезда по более крутым склонам, чем обычные поезда. Более того, линейные индукционные двигатели переключаются на торможение в реверсном режиме, предохраняя поезд от скатывания вниз за счет работы, направленной против силы тяготения.

## Суда с ядерными двигателями

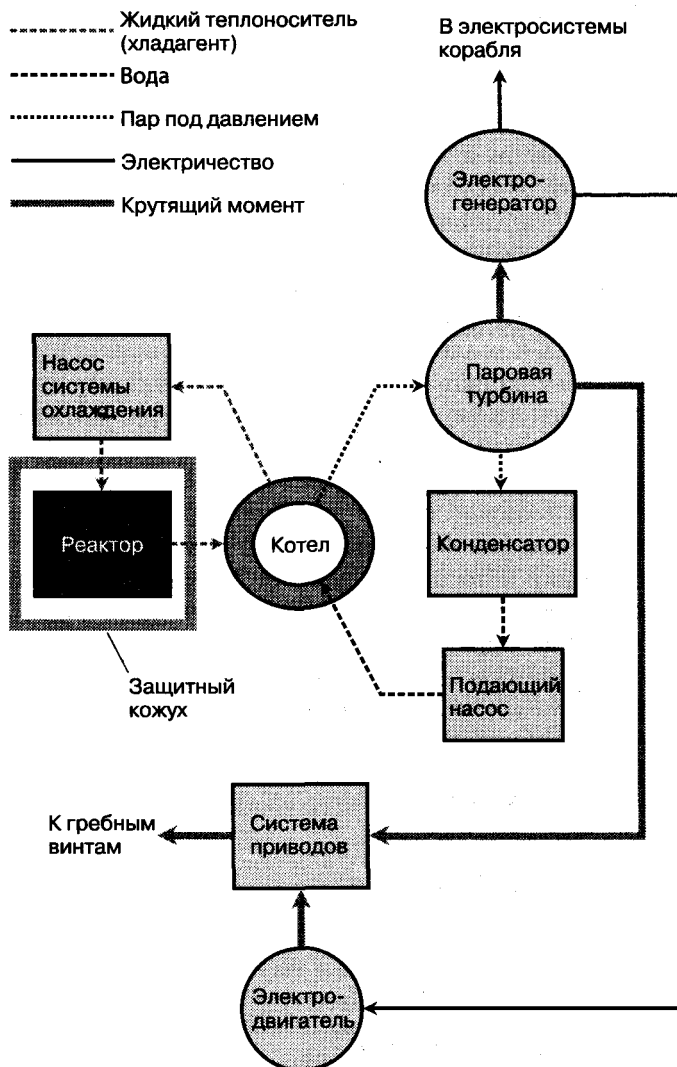
Океанические суда с ядерными (атомными) двигателями существуют уже десятки лет. Исторически ядерными реакторами оснащались в основном подводные лодки и авианосцы. Однако в связи с сокращением мировых запасов нефти использование *деления урана* привлекает все большее внимание как источник энергии для судов — как военных, так и коммерческих.

### КАК РАБОТАЕТ СУДНО НА ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ

В современных *ядерных реакторах* уран постепенно распадается на более легкие элементы. Термин *ядерный* подразумевает, что



в этом процессе задействовано атомное *ядро*. При распаде ядра урана, состоящие из *протонов* и *нейтронов*, разделяются на части. Таким образом, тяжелый элемент превращается в легкие элементы — мечта алхимика, ставшая явью.



**Рис. 9.7.** Упрощенная функциональная схема типичной силовой установки океанического судна с ядерным реактором



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

По мере распада происходит высвобождение энергии в форме теплоты и *ионизирующего излучения*, также называемого *радиоактивностью*. Часть этого излучения состоит из нейтронов, имеющих очень высокую скорость, которые расщепляют все новые ядра урана, высвобождая еще больше энергии. Если такая реакция протекает быстро, происходит взрыв. По этому принципу работали первые атомные бомбы. Однако цепную реакцию можно замедлить и сделать самоподдерживающейся. Если это происходит в жестко контролируемых условиях, распад урана может обеспечивать огромное количество полезной тепловой энергии в течение долгого времени, а риск взрыва фактически сводится к нулю.

На рисунке 9.7 представлена упрощенная функциональная схема типичной силовой установки корабля или подводной лодки с ядерным реактором. Тепло от реактора передается на *водяной котел* с помощью *жидкого теплоносителя*, отдаленно сходного с жидкостями, используемыми в тепловых насосах, воздушных кондиционерах или автомобильных радиаторах. Этот жидкий теплоноситель, также называемый *хладагентом*, возвращается от стенок котла к реактору через *насос системы охлаждения*. Вода в котле превращается в пар, который движет турбину. После прохождения турбины пар конденсируется и возвращается в котел *подающим насосом*. Вода и хладагент полностью изолированы друг от друга; они не вступают в физический контакт. Это предотвращает случайный выброс радиации в окружающую среду через систему циркуляции воды/пара.

Усилие турбины через *систему приводов* передается на винт. Кроме того, турбина вращает вал генератора, вырабатывающего электроэнергию для команды, пассажиров и бортовой электроники. Это электричество также приводит в действие электродвигатель или питает батарею, приводящую в действие электродвигатель системы приводов. Этот двигатель может обеспечивать дополнительную тягу судну.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ЯДЕРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

- Энергии, образующейся при ядерном распаде, хватает на прохождение большего количества морских миль, чем любого ископаемого топлива равной массы, даже считая немалую массу изолирующего кожуха реактора.
- Техобслуживание ядерных реакторов, критически важное само по себе, не нужно проводить так же часто, как техобслуживание и заправку обычного корабельного двигателя.



- Ядерные реакторы и их внешние устройства могут работать в отсутствие кислорода. Это делает их идеальными двигателями для подводных лодок.
- Суда с ядерными реакторами способны достигать больших скоростей, чем суда с обычными двигателями.
- Общие риски при эксплуатации двигателей на ядерных реакторах ниже, чем риски при эксплуатации обычных систем (утечки и разливы нефти, в частности).
- Суда с ядерными реакторами не выделяют парниковых газов, окиси углерода (СО) или дисперсных (в виде твердых частиц) загрязнителей, как делают суда с двигателями на ископаемом топливе.
- В целом ядерная энергия помогает мировой экономике отказаться от зависимости от ископаемого топлива.

### НЕДОСТАТКИ ЯДЕРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

- Отходы ядерных реакторов остаются радиоактивными много лет (хотя большая их часть распадается за несколько месяцев). Захоронение ядерных отходов сопряжено с техническими и политическими проблемами.
- Несмотря на то что риски несчастных случаев или диверсий на ядерных реакторах сведены к минимуму, их последствия — утечки высокорadioактивных материалов в окружающую среду — нельзя недооценивать.
- Попадание некоторых продуктов ядерного распада в плохие руки грозит ядерным шантажом или терроризмом.
- Широкое использование ядерных реакторов встречает активное сопротивление со стороны определенных сообществ в силу перечисленных выше негативных факторов. Это привело к определенному неприятию ядерной энергетики в обществе в целом и в США в частности.

### Задача 9.3

Почему бы не проводить захоронение ядерных отходов сразу в море? Мировой океан велик, а количество ядерных отходов, даже если ядерных реакторов много, достаточно мало. Разве океан не способен снизить уровень радиации до пренебрежимо малого? Или это неприемлемо, почему бы не прибегнуть к захоронениям отходов в герметичных экранированных от радиации контейнерах, опуская их на дно океана вдали от материков и населенных островов?



### Решение 9.3

Уровень радиоактивности ядерных отходов (по отношению к их массе) очень высок. Кроме того, точно предугадать, как именно радиоактивность, распределенная по Мировому океану, будет воздействовать на живые организмы в море и на всю пищевую цепочку от планктона до человека, очень сложно. Герметичные контейнеры для захоронения ядерных отходов должны быть высочайшего качества, чтобы они не успели разрушиться до распада отходов и снижения уровня радиоактивности до безопасного.

## Ионная ракета

Горячий газ, получаемый при сгорании воспламеняющегося топлива, как это происходит в обычных ракетах, — не единственный способ создать тягу для старта космического корабля. Другой способ обеспечить межпланетное или межзвездное движение заключается в использовании мощных *линейных ускорителей элементарных частиц*. Частицы атома разгоняются до высочайших скоростей и «выстреливаются» позади космического корабля, придавая тому импульс, направленный вперед, в соответствии с принципом действия и противодействия.

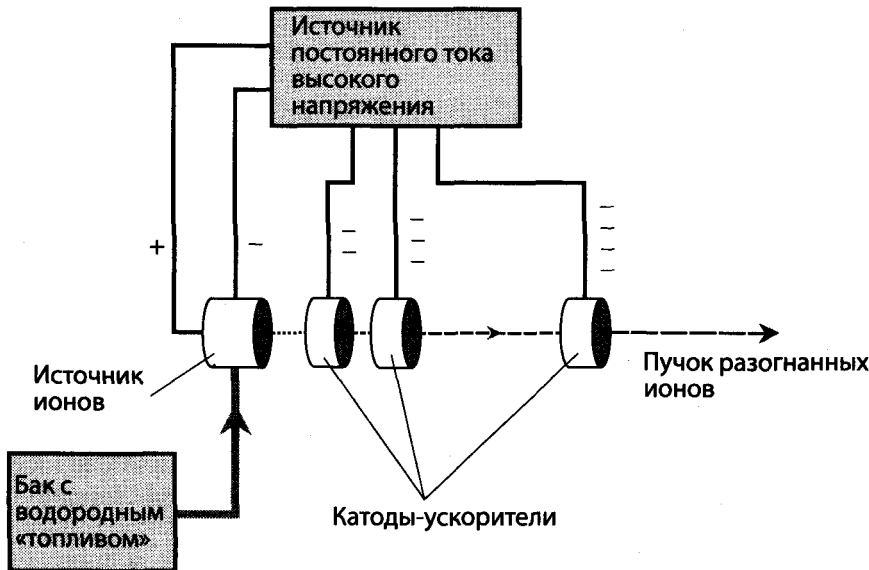
### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

На рисунке 9.8 изображена упрощенная схема работы *двигателя ионной ракеты*. Источник испускает ионизированный газ (водород или гелий, например) в большом количестве. Положительно заряженные ионы простого водорода<sup>4</sup> состоят из отдельных протонов. Положительно заряженные ионы гелия обычно состоят из двух протонов и двух нейтронов. Любое атомное ядро фактически является положительно заряженным ионом, который можно разогнать отрицательно заряженными *катодами*, сквозь которые оно проходит. Электрическое напряжение на катодах очень высоко, за счет чего создаются мощные электрические поля. На каждый последующий катод подается более высокий отрицательный заряд.

Ионы по мере прохождения через катоды набирают скорость и инерцию. К моменту прохождения последнего катода они имеют такую высокую скорость и направленное назад количество движения (произведение массы на скорость), что результирующая сила способна толкать космический корабль вперед. Эта сила невелика, но постоянна.

---

<sup>4</sup> Автор подчеркивает, что имеет в виду именно водород, а не дейтерий или тритий (см. главу 12). — *Прим. пер.*



**Рис. 9.8.** Принципиальная схема работы двигателя ионной ракеты. Двигатель производит тягу за счет ускорения атомных ядер (ионов) до высочайших скоростей

За долгое время в близкой к вакууму глубине космоса звездолет такого типа теоретически может набрать скорость, значительно превышающую ту, что доступна обычным ракетным космическим кораблям.

## ПРЕИМУЩЕСТВА ИОННОЙ РАКЕТЫ

- Ионные ракеты эффективны. На производство импульса они тратят большую часть входящей энергии.
- Ионная ракета способна функционировать долгое время, позволяя небольшому кораблю достичь высокой скорости, хотя ускорение ионной ракеты невелико.
- Ионные ракеты безопасны по своей сути, так как горючее для них хранится в форме, которая не может воспламениться или взорваться в открытом космосе.

## НЕДОСТАТКИ ИОННОЙ РАКЕТЫ

- Работа линейных ускорителей элементарных частиц требует много энергии. Единственная существующая на сегодняшний





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

день технология, позволяющая получить необходимое количество энергии за требуемое время, — это ядерный реактор на борту корабля.

- Получение и хранение на борту корабля необходимого для долгих путешествий количества топлива может быть проблематичным.
- Ионная ракета ускоряется медленно, поэтому ее нельзя использовать для вывода космического корабля на орбиту Земли. Она функциональна только для корабля, уже находящегося в космосе.

### Задача 9.4

Чем ограничивается скорость ионной ракеты, движущейся в межзвездном пространстве бесконечно долго? Чем эти ограничения отличаются от факторов, ограничивающих максимальную скорость, с которой может лететь реактивный самолет в атмосфере Земли?

### Решение 9.4

Максимальная скорость реактивного самолета определяется скоростью выброса выходящих газов из турбины. Сила сопротивления воздуха не позволяет самолету двигаться быстрее, чем тяга реактивной струи, выбрасываемой двигателем назад. Однако в космосе ситуация иная. Пока поддерживается импульс, скорость способна возрастать без ограничений. Величина импульса ионного двигателя зависит от количества движения испускаемого вещества (ионизированного газа). Если протоны покидают двигатель корабля с постоянной скоростью и частотой, импульс, а значит и ускорение аппарата остаются постоянными. Со временем при постоянном (и даже невысоком) ускорении корабль может достичь высочайшей скорости. Ее теоретический верхний предел, согласно *специальной теории относительности*, равен скорости света, обозначаемой латинской буквой «с». Приблизительное значение скорости света равно 300 000 км/с, или 186 000 миль в секунду<sup>5</sup>.

## Космические корабли на термоядерных двигателях

*Термоядерный синтез водорода* — ядерный процесс, в котором ядра атомов водорода при огромной температуре объединяются,

---

<sup>5</sup> Величина скорости света в вакууме — фундаментальная физическая постоянная, по определению, *точно* равная 299 792 458 м/с. — *Прим. пер.*



формируя атомы гелия. При этом высвобождается энергия. Для преобразования материи в энергию термоядерный синтез гораздо эффективнее распада урана.

Считается, что в глубинах Солнца и других звезд происходят реакции именно такого типа.

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Ученые и конструкторы космической техники предложили несколько разных типов космических аппаратов с двигателями на основе термоядерного синтеза, способных совершать долгие космические путешествия с разумным грузом горючего на борту. Наиболее известны среди них «Орион», проект «Дедал» и *прямоточный двигатель Бассарда*.

Космический аппарат типа «Орион»<sup>6</sup> движется за счет регулярных взрывов водородных бомб вне корабля. Сила каждого взрыва, должным образом отраженная, будет ускорять корабль. Дефлектор должен был быть достаточно прочным, чтобы выдержать силу множественных термоядерных взрывов. Материал дефлектора под воздействием не должен был расплавиться, испариться, деформироваться или иным способом разрушиться. Кроме того, дефлектор должен служить отражателем радиоактивного излучения, экранируя жилые помещения.

Не так давно этот проект был практически закрыт из-за непреодолимых технических проблем, таких как губительные для команды резкие ускорения и опасность повреждения или разрушения корабля в результате взрывов.

Более равномерное движение обеспечивал проект «Дедал». В нем в качестве двигателя предполагался *термоядерный реактор*, позволяющий осуществлять постоянный управляемый синтез. Космический аппарат оснащается дефлектором, подобным тому, что предназначался для проекта «Орион».

Преимуществом «Дедала» было равномерное, а не скачкообразное ускорение, которое позволяло космическому аппарату набрать

---

<sup>6</sup> Работы над космическим аппаратом типа «Орион» начались еще в 1958 году, но были свернуты в 1990-х. В 2006 году НАСА подписало контракт с корпорацией «Локхид Мартин» на постройку космического корабля, также получившего имя «Орион», призванного заменить устаревшие шаттлы типа «Аполлон». Двигатели у этого корабля вполне традиционные, не имеющие отношения к термоядерному синтезу. — *Прим. пер.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

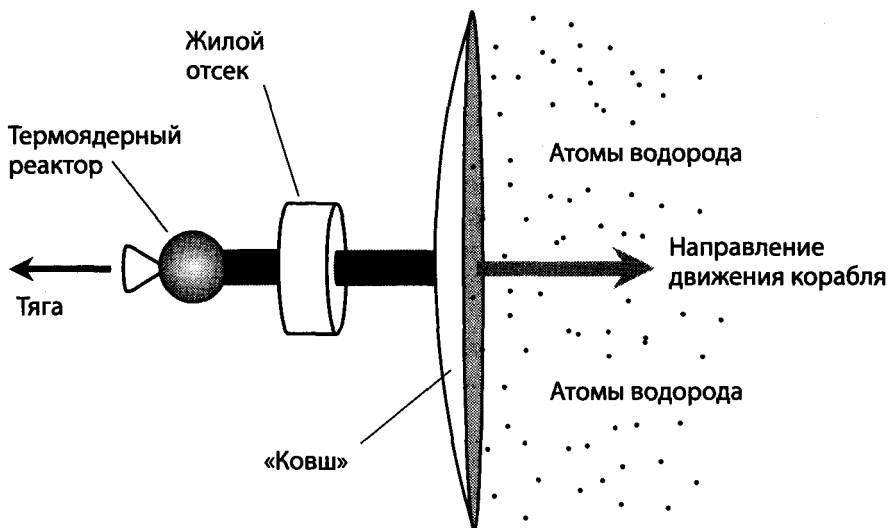
высокую скорость, не подвергая космонавтов угрозам, связанным с резкими изменениями скорости.

Космические аппараты «Орион» и «Дедал» были способны, согласно доводам разработчиков, развить скорость примерно в 10% от скорости света (0,1 с). Таким образом, они могли достичь ближайших к Солнцу звезд и вернуться за срок, равный нескольким поколениям человеческой жизни. Первую часть пути аппарат ускорился, а вторую тормозил, развернувшись на 180°, так что «выхлоп» направлялся вперед по ходу движения, задавая кораблю обратный импульс.

Самая любопытная модель термоядерного двигателя — прямоточный двигатель Бассарда. Эта модель похожа на проект «Дедал», но ей требуется гораздо меньше топлива на борту.

Как только космический аппарат наберет определенную скорость, огромный «ковш», расположенный на носу корабля, будет (возможно!) собирать атомы водорода из межзвездного пространства в количестве, достаточном для того, чтобы обеспечить топливом термоядерный реактор.

На рисунке 9.9 изображена упрощенная схема такого космического аппарата.



**Рис. 9.9.** Космический корабль с прямоточным двигателем Бассарда обеспечивает себя топливом, собирая атомы водорода из космического пространства для термоядерного реактора



Чем выше его скорость, тем больше водорода он может собрать, что позволит ему лететь еще быстрее. Торможение осуществляется за счет того, что «выхлоп» перенаправляется вперед, через сопло в центре «ковша».

Лучше всего прямоточный двигатель Бассарда будет работать в газовых туманностях, если эти зоны не перенасыщены астероидами и метеоритами. Некоторые ученые полагают, что космические аппараты такого типа могут достичь скоростей, достаточно высоких для того, чтобы испытать действие эффекта, известного как *релятивистское замедление времени*. Космонавты на борту такого корабля будут стариться гораздо медленней, чем на борту корабля, движущегося с обычной скоростью. Этот эффект позволяет достигать гораздо более удаленных точек за время жизни одного человеческого поколения. Замедление времени становится заметным при скоростях выше 90% от скорости света ( $0,9 c$ ) — примерно 270 000 км/с, или 170 000 миль в секунду. По мере дальнейшего приближения к скорости света время замедляется беспрельдно.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕРМОЯДЕРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

- Водород — самый распространенный элемент в природе. В космическом пространстве он существует в свободной форме. Это обеспечивает безграничный запас топлива для космического аппарата или по крайней мере существенно уменьшает необходимый запас топлива на его борту.
- Термоядерный синтез водорода позволяет получить огромное количество энергии из небольшого количества вещества (материи).
- Термоядерный синтез водорода практически не оставляет радиоактивных отходов. Единственный значимый побочный продукт синтеза — это гелий. В результате синтеза не остается угарного газа (окиси углерода — CO), углекислоты (диоксида углерода — CO<sub>2</sub>), окисей серы или азота (SO, NO) или дисперсных загрязнителей окружающей среды.
- Термоядерный реактор способен обеспечить энергией все электрические, электромеханические и электронные системы на борту корабля.

### НЕДОСТАТКИ ТЕРМОЯДЕРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

- Команду космического аппарата необходимо защищать от радиоактивного излучения, возникающего в процессе термоядерного синтеза. Это подразумевает оснащение корабля массивными



экранами, что снижает максимально достижимое ускорение на каждый импульс.

- Несмотря на то что космический корабль с термоядерным реактором может набрать высокую скорость, вряд ли люди когда-либо смогут «бороздить Галактику» на подобных аппаратах, как в фантастических фильмах или телесериалах. Для того чтобы это осуществить, необходимо разработать какие-то совершенно иные, доселе не известные методы.
- Материалы для дефлектора ядерных взрывов должны обладать свойствами, позволяющими им длительное время выдерживать высочайшие температуры и мощнейшее механическое воздействие.
- Если кораблю удастся достичь околосветовой скорости и эффект замедления времени начнет действовать, Земля (и земляне вместе с ней) будет стариться гораздо быстрее, чем команда корабля. Если космонавты вернутся на Землю после долгого путешествия, они окажутся в далеком будущем, откуда нет возврата в привычное им время. Зная об этом заранее, потенциальные космические путешественники могут испытывать серьезнейший психологический шок, последствия которого могут стать разрушительными для них.

### Задача 9.5

Может ли космический аппарат с термоядерным двигателем стартовать непосредственно с Земли? Если так, то не вызовет ли работа реактора разрушения и радиоактивное заражение вокруг стартовой площадки?

### Решение 9.5

Большинство моделей космических аппаратов с термоядерным двигателем предполагают использование обычных ракет для доставки корабля на орбиту Земли. Термоядерные двигатели запускаются на высоте нескольких тысяч километров. Таким образом, опасному воздействию поверхность Земли не подвергается.

## Солнечный парус

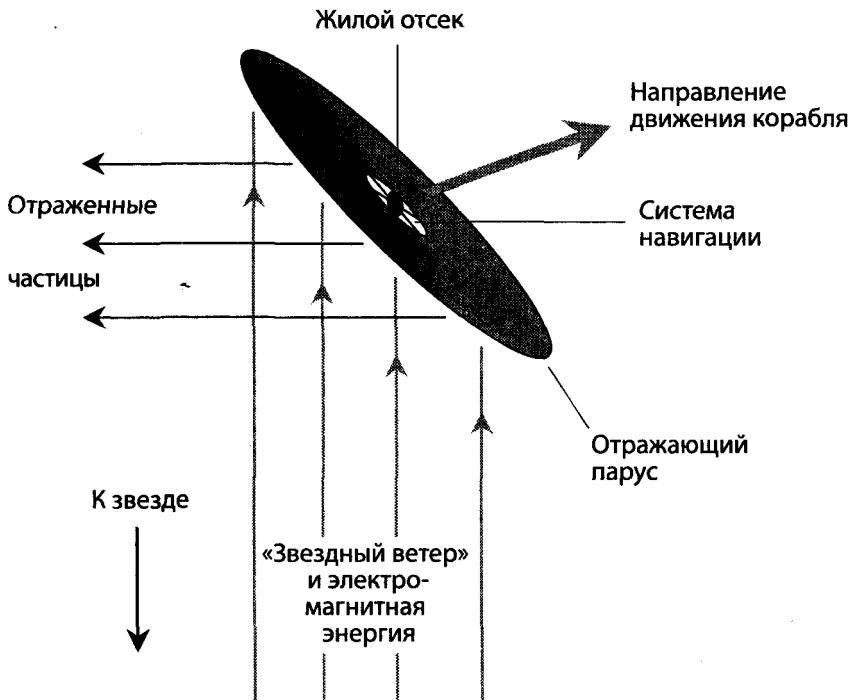
Солнце испускает некоторое количество энергии в форме субатомных частиц, двигающихся с огромной скоростью. Эти частицы образуют так называемый *солнечный ветер*, радиально расходящийся от звезды вокруг планет. Этот солнечный ветер можно использо-



вать для того, чтобы приводить в движение космические аппараты<sup>7</sup>, подобно тому как парусные суда в океанах приводятся в движение ветром — потоком молекул воздуха.

## КАК ЭТО РАБОТАЕТ

*Солнечный парус*, по сути, — огромное полотнище из отражающего материала или фольги. Это полотнище крепится к корпусу жилого отсека космического аппарата (рис. 9.10).



**Рис. 9.10.** Оснащенный солнечным парусом космический корабль приводится в движение «силой солнечного ветра», так же как обычный корабль использует силу атмосферного ветра

<sup>7</sup> Автор смешивает понятия *солнечного ветра* (поток ионизированных частиц: протонов, электронов и т. п.) и *давления солнечного света* (поток фотонов). В действительности давление солнечного света в несколько тысяч раз превышает давление солнечного ветра, и «наполнение» солнечных парусов происходит именно за счет давления солнечного света. — Прим. пер.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

Дистанция, которую может преодолеть такой корабль, ограничена размерами Солнечной системы (или системы любой другой звезды, в пределах которой происходит путешествие). Кораблю проще всего будет двигаться строго от звезды, чем к ней, по очевидным причинам. Однако, так же как и надводные парусные корабли, способные двигаться против ветра *галсами* (зигзагом), «солнечные корабли» могут лавировать, двигаясь в любом направлении, при условии, что на это движение хватит силы солнечного ветра. Для того чтобы приблизиться к звезде, им придется двигаться по спирали вперед-внутри звездной системы. Направление движения при этом будет под углом чуть меньше  $90^\circ$  навстречу направлению солнечного ветра.

Солнечный парус не требует наличия на борту космического аппарата топлива — по крайней мере, в идеальном случае. Тем не менее навигация такого аппарата может оказаться весьма затруднительным делом.

Неожиданные *солнечные вспышки* (протуберанцы) могут порывами усиливать солнечный ветер из-за обилия относительно массивных частиц, испускаемых в момент вспышки. Рядом с любой планетой, обладающей магнитным полем (включая и Землю), эти частицы отражаются, и солнечный ветер совершенно не обязательно будет «дуть» в направлении от светила.

«Классические» океанские суда не швартовались сразу к берегу, а бросали якорь в глубоких водах, отправляя на берег лодки. Во время космического перелета корабль-матка также будет сворачивать солнечный парус, «вставая на якорь» на орбите избранной планеты. Посадка на планету должна осуществляться на небольших шаттлах, курсирующих между планетой и кораблем-маткой.

### ПРЕИМУЩЕСТВА СОЛНЕЧНОГО ПАРУСА

- Солнечный парус — пассивное приспособление. Для него не требуется держать на борту или собирать никакого топлива. Однако предусмотреть резервную двигательную систему (набор обычных ракет или термоядерный двигатель) на борту, безусловно, стоит.
- Механические и термические нагрузки на солнечный парус гораздо ниже тех, что испытывают двигатели обычных ракет или термоядерный реактор.
- Солнечный парус не излучает никакой радиации и не производит никаких отходов.



- Установленный солнечный парус не требует никакого (или требует минимального) обслуживания при эксплуатации, не считая периодического «латания» дыр, пробитых метеоритами.
- Солнечный парус можно частично покрыть фотоэлектрической пленкой (солнечными батареями), что позволит производить электричество для бортовой техники и систем жизнеобеспечения.

### НЕДОСТАТКИ СОЛНЕЧНОГО ПАРУСА

- Солнечному парусу требуется поток частиц от Солнца (или другой ближайшей звезды). Он может оказаться нефункциональным в межзвездном пространстве из-за отсутствия доминирующей звезды, способной произвести надежный и предсказуемый поток частиц<sup>8</sup>.
- Максимальная скорость, достижимая при помощи солнечного паруса, гораздо ниже, чем максимальная скорость космического аппарата с ионным или термоядерным двигателем.
- В силу размеров солнечный парус тяжело и неудобно разворачивать.
- Неожиданные вспышки на солнце и магнитные поля планет могут затруднить навигацию космического аппарата с солнечным парусом. Это похоже на попытку провести земной парусный корабль в районе переменных ветров и океанических течений.

### Задача 9.6

Не возникнет ли трения при соприкосновении огромной поверхности солнечного паруса с разреженными газами в межпланетном пространстве, что сделает всю систему непригодной для применения?

### Решение 9.6

Естественно, некоторое трение между солнечным парусом и атомами материи — в основном водорода и других газов — будет возникать. Однако давление солнечного ветра гораздо выше, чем сопротивление, возникающее при таком трении, во всяком случае, внутри звездной системы. С другой стороны, мы никогда не узнаем, на-

---

<sup>8</sup> Давление солнечного ветра падает пропорционально кубу расстояния от звезды. — *Прим. ред.*





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

сколько хорошо работает солнечный парус, до тех пор пока не проведем «полевые испытания»<sup>9</sup>.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отвечая на эти вопросы, вы можете пользоваться текстом книги. Восемь правильных ответов — хороший результат. Ответы помещены в конце книги.

1. Электрическому генератору океанического корабля с ядерным реактором на борту крутящий момент (сила, заставляющая вращаться его вал) сообщается непосредственно:
  - (а) активной зоной реактора;
  - (б) жидким теплоносителем (хладагентом);
  - (в) водяным котлом;
  - (г) паровой турбиной.
2. Энергия для солнечного паруса производится:
  - (а) электростатическими зарядами;
  - (б) потоком движущихся частиц;
  - (в) термоядерным синтезом;
  - (г) делением ядра.
3. Выделение угарного газа (СО) в результате работы термоядерного двигателя космического корабля:
  - (а) вызывает вредоносную ионизацию атмосферы Земли сразу после запуска;
  - (б) будет значительным, но не вызывает опасений, поскольку газ рассеется в космическом пространстве;
  - (в) может быть губительным для команды, если газ не будет отведен от корабля;
  - (г) равно нулю; при работе термоядерного двигателя космического корабля угарный газ не выделяется.

---

<sup>9</sup> В 90-х годах XX века и в начале XXI века было предпринято несколько попыток испытать солнечный парус в действии, но дальше его раскрытия (в самых удачных случаях) дело не пошло. Различные технические проблемы (неполное или неправильное раскрытие в случае успешного вывода аппарата на орбиту или отказы ракет-носителей) до сегодняшнего дня не позволяли провести полномасштабные испытания работы солнечного паруса. — *Прим. пер.*



4. Количество движения протона, выброшенного ионным двигателем, равно:
  - (а) произведению скорости протона на его массу;
  - (б) частному от деления скорости протона на его массу;
  - (в) произведению массы протона на скорость света;
  - (г) частному от деления массы протона на скорость света.
5. Линии магнитной индукции концентрируются в результате действия:
  - (а) диамагнетизма;
  - (б) сверхпроводимости;
  - (в) эффекта Мейснера;
  - (г) ферромагнетизма.
6. Диамагнетик притягивается:
  - (а) к северному полюсу магнита;
  - (б) к южному полюсу магнита;
  - (в) либо к северному, либо к южному полюсу магнита;
  - (г) ни к южному, ни к северному полюсу магнита не притягивается.
7. В термоядерном реакторе:
  - (а) тяжелые атомные ядра разбиваются, формируя ядра легких атомов;
  - (б) легкие атомные ядра сливаются, формируя более тяжелые ядра атомов;
  - (в) ионы разгоняются до высоких скоростей для того, чтобы создать движущую силу;
  - (г) мощные магнитные поля могут быть опасными вблизи.
8. При движении поезда на магнитной подушке единственное существующее трение возникает между:
  - (а) вагонами и рельсом;
  - (б) вагонами и электромагнитами;
  - (в) вагонами и атмосферой;
  - (г) магнитными полями противоположных знаков.
9. Значительным преимуществом ионных двигателей для космических аппаратов является:
  - (а) способность производить мощный импульс;
  - (б) преобразование большинства доступной энергии в движущую силу;



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- (в) то, что они не требуют источника энергии на борту;
  - (г) производство гелия как побочного продукта.
10. Теорема Ирншоу, на первый взгляд отрицающая возможность получить реальную магнитную левитацию, применима исключительно к:
- (а) магнитным полям противоположного знака;
  - (б) набору неподвижных магнитов;
  - (в) набору движущихся электромагнитов;
  - (г) набору вращающихся магнитов.

# Глава 10

## Ископаемое топливо как источник электроэнергии

Невозобновляемых источников электрической энергии все меньше, они становятся все дороже, и народам мира не остается ничего иного, как искать альтернативные источники. Однако сейчас значительная доля мирового электричества производится электрогенераторами. Их приводят в действие турбины, использующие в качестве топлива ископаемые углеводороды.

### Электростанции на угле

Несмотря на то что уголь — невозобновляемый ресурс, на Земле его еще достаточно. В начале XXI века уголь вновь начали активно использовать, так как запасы нефти и природного газа — двух других видов топлива, широко применяемых для получения электроэнергии, — уменьшились<sup>1</sup>. Использование угля не решает энергетические проблемы человечества раз и навсегда, но он остается в нашем распоряжении, пока мы пытаемся разработать долговременные альтернативные источники энергии.

#### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Идея электростанции на угле может показаться несведущему человеку примитивной. Тем не менее современные электростанции, работающие на угле, — это довольно сложные установки. Уголь добывается в местах, обычно удаленных от электростанций, и его прихо-

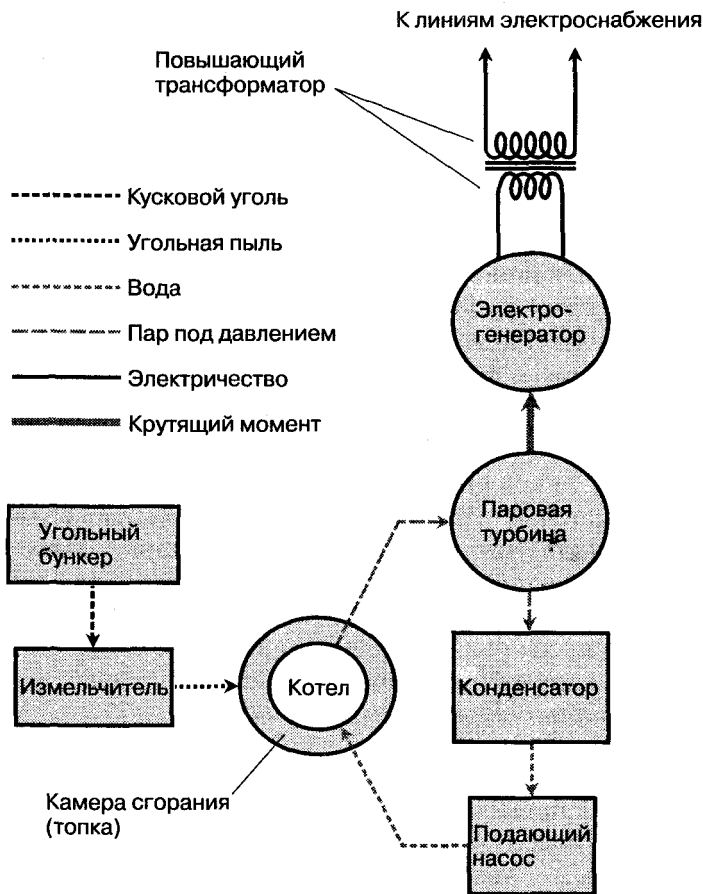
---

<sup>1</sup> Автор несколько переоценивает значимость угля для мировой электроэнергетики. Согласно отчету Международной энергетической ассоциации (МЭА), в 2007 году газ занимал второе место в энергетической корзине мирового потребления, оттеснив уголь на третье место. Вместе с тем призывы активнее использовать уголь в электроэнергетике в США звучат сегодня достаточно громко. — *Прим. пер.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

дится туда доставлять. Чаще всего для этого используются железные дороги. Уголь очищают и *дегазируют* непосредственно на угольном разрезе перед тем как загрузить на специальные *угольные поезда*, безостановочно курсирующие по стране.



**Рис. 10.1.** Упрощенная функциональная схема работы электростанции на угле с котлом и паровой турбиной

На рисунке 10.1 изображена упрощенная схема работы электростанции на угле. Прибывший на электростанцию уголь перегружают в большой *загрузочный бункер* (излишки могут просто сваливать на месте в кучи — черные угольные холмы терриконы). Из бункера



уголь подается в *измельчитель*, перемалывающий его в пыль<sup>2</sup>. *Вентилятором* (не показан) смесь воздуха и угольной пыли подается в *камеру сгорания котла*, где сжигается. Полученная в результате теплота превращает воду в *котле* в пар, находящийся под давлением. Предварительно эта вода очищается от примесей и минералов, которые могли бы с течением времени накопиться в системе. Пар приводит в движение *паровую турбину*, которая вращает вал одного или нескольких *генераторов*. В дальнейшем пар из турбины охлаждается и конденсируется обратно в воду в *конденсаторе*. *Питающий насос* возвращает воду в котел.

В США генераторы производят переменный ток (АС) с частотой в 60 Гц. В других странах (в Европе и России, в частности) частота переменного тока равна 50 Гц<sup>3</sup>. Один герц эквивалентен одному полному обороту вала за секунду. Напряжение этого переменного тока поднимается до нескольких сотен тысяч вольт огромными *повышающими трансформаторами*, присоединенными к каждому генератору. Высоковольтный ток затем подается на *линии электропередачи* (ЛЭП), распределяющие электроэнергию по потребителям.

### ЗАЧЕМ НУЖНО ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ?

Задумывались ли вы, зачем для передачи электроэнергии на большое расстояние нужно такое высокое напряжение, заставляющее строить высокие башни-опоры и гигантские изоляторы? Почему бы не передавать электричество низкого напряжения по сверхпрочным проводам, протянутым между скромными сооружениями или даже под землей? Тому есть причина.

Для заданной мощности электроэнергии, потребляемой конечными потребителями (*нагрузка сети*), сила тока в линиях электропередачи с ростом напряжения понижается. Уменьшение силы тока сокращает

<sup>2</sup> Вместо пылеугольных топок в последние годы получают распространение топки с циркулирующим кипящим слоем, позволяющие использовать размер угольных кусков до 10–15 мм, что упрощает процесс сжигания и очистки продуктов сгорания. — *Прим. ред.*

<sup>3</sup> Такая ситуация сложилась исторически — из-за того, что в США в результате конкуренции Никола Тесла, имевшего патент на генераторы переменного тока, с Эдисоном, имевшим патент на генераторы постоянного, именно генераторы Тесла были приняты для внедрения в электрические сети. В Европе же, возможно, при определении частоты тока определенную роль сыграла любовь европейцев к метрической системе. — *Прим. пер.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

потери электроснабжения в линии электропередачи. Обратившись к формуле из школьного курса физики, вы поймете почему:

$$P = EI,$$

где  $P$  — мощность в ваттах,  $E$  — напряжение в вольтах, а  $I$  — сила тока в амперах. Из нее следует, что на данном уровне мощности сила тока обратно пропорциональна напряжению:

$$I = P/E.$$

Потери электроснабжения (т. е. потери мощности) в линии электропередачи пропорциональны *квадрату* силы тока. Эти потери — мощности, которые не доходят до конечных потребителей; они уходят на нагрев проводов. Это соотношение описывается следующей формулой:

$$P = I^2 R,$$

где  $P$  — мощность в ваттах,  $I$  — сила тока в амперах, а  $R$  — сопротивление провода в омах. Конструкторы не могут изменить сопротивление провода или мощность нагрузки сети, но они могут довести до максимума напряжение, минимизируя таким образом «лишний» ток, который вынуждена нести линия передачи для обеспечения потребности сети.

Предположим, напряжение, подаваемое в сеть, повышается десятикратно, а потребительские нагрузки в сети постоянны. Рост напряжения уменьшает силу тока в десять раз, и в результате потери мощности сокращаются в  $(1/10)^2$ , т. е. в сто раз! Разумеется, использовать повышающий трансформатор в одном месте проще и дешевле, чем протягивать на многие километры провода, тяжесть которых (без трансформатора) оказывалась бы в сто раз больше.

Вид высоковольтной линии переменного тока под напряжением, скажем, 500 000 вольт страшноват? Возможно. Но угрозу здоровью, исходящую от линий электропередачи (реальный уровень этой угрозы — вопрос спорный), на самом деле несут *магнитные поля*, генерируемые этими линиями. Сила этих колеблющихся полей прямо пропорциональна силе тока, а не напряжению. Если бы такая линия, проходящая по вашему пригороду, имела напряжение в 500 вольт, а не в 500 000, магнитные поля, окружающие ее, были бы гораздо интенсивнее и потенциальная угроза здоровью, соответственно, выше.

### ПО ЛИНИИ

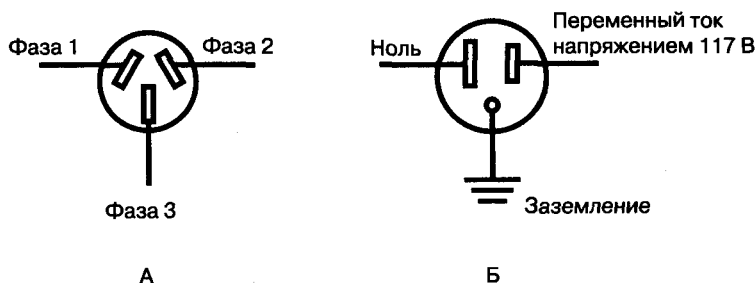
Высокое напряжение прекрасно подходит для передачи электричества на большие расстояния, но совершенно ни к чему для обычного потребителя. Провода высоковольтных линий производятся с со-



блюдением мер предосторожности, предотвращающих *дуговой пробой* (искрение) и короткие замыкания. Работники электростанций и электросетей должны находиться как минимум за несколько метров от высоковольтных проводов. Представьте попытку подключить любой бытовой прибор, скажем, персональный компьютер к высоковольтной сети с напряжением 500 000 вольт напрямую — вас убьет прежде, чем вы вставите вилку в розетку.

Для понижения напряжения в сетях неподалеку от скопления конечных потребителей сооружаются электрические подстанции промежуточного напряжения, оборудованные *понижающими трансформаторами*. Кабели промежуточного напряжения от них распределяются дальше, к еще более низковольтным линиям. В конце концов одна или несколько линий от каждого трансформатора подключаются к отдельным зданиям. Каждый трансформатор должен быть оборудован проводами достаточного сечения, чтобы выдерживать пиковое напряжение, необходимое всем потребителям, которых он обслуживает.

Порой, в часы жары, например, потребность в электричестве возрастает выше обычных пиковых нагрузок. Возникает дефицит мощности — сеть нагружена так, что происходит *временное падение (провал) напряжения*. Если же потребление возрастает еще, трансформаторы подвергаются опасным перегрузкам. Защищая их от разрушения, встроенные прерыватели размыкают цепь — происходит временное аварийное обесточивание (*блэкаут*).



**Рис. 10.2.** На схеме А — трехфазная розетка переменного тока. На схеме Б — обычная однофазная розетка переменного тока

В частных домах или отдельных постройках трансформаторы понижают напряжение до 234 или 117 вольт (в США. — *Прим. пер.*). Обычно напряжение в 234 вольта подается по трем проводам, называемым *фазами*, каждый из которых подключен к своему гнезду





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

сетевой розетки (рис. 10.2, А). Этим напряжением обычно запитывают мощные электробытовые приборы: электрические печи и плиты, электрические камины, стиральные машинки и сушилки. К низковольтным (11 вольт) розеткам с двумя или тремя гнездами подводится переменный ток одной фазы. Третье гнездо такой розетки — *заземление* (рис. 10.2, Б).

### ПРЕИМУЩЕСТВА УГЛЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

- Уголь широко распространен, и его месторождений в США множество. Это очевидное преимущество американской экономики в условиях, когда снабжение нефтью и природным газом (метаном) становится ненадежным или цены на них — непредсказуемыми.
- Современные электростанции, работающие на угле, достаточно эффективны и выбрасывают гораздо меньше вредных отходов, чем их ранние предшественники.
- Камеры сгорания электростанций, сжигающие угольную пыль, достаточно гибки — их можно легко переналадить. Они способны сжигать как любой вид угля — от лигнита (бурого или мягкого угля) до антрацита (каменного или твердого угля), так и нефть и/или метан.

### НЕДОСТАТКИ УГЛЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

- Запасы доступного угля велики, но не бесконечны. В лучшем случае использование угля предоставит отсрочку, необходимую для радикального решения глобальной проблемы электроэнергообеспечения.
- Сжигание угля приводит к меньшим, чем это было раньше, выбросам вредных веществ, однако при этом все же выделяются углекислота (диоксид углерода —  $\text{CO}_2$ , известный как парниковый газ), угарный газ (окись углерода —  $\text{CO}$ ), окиси серы и азота ( $\text{SO}$  и  $\text{NO}$ ), а также ртутные соединения. Современные контрольно-измерительные приборы и автоматика сокращают выбросы и уменьшают загрязнение окружающей среды, но в странах с развивающейся экономикой они используются не всегда.
- Угольные шахты надолго оставляют уродливые шрамы на теле Земли, а их работа чревата утечкой токсичных материалов — свинца, ртути или мышьяка.
- Угольные поезда затрудняют транспортное сообщение в городах, не имеющих достаточно разветвленной сети дорог с моста-



ми и тоннелями. Это не просто неудобство, а потенциальная угроза, если движение угольных поездов мешает передвижению спецтранспорта (пожарных, медицинских, полицейских или иных автомобилей).

- Шум, производимый поездами, может раздражать людей, проживающих около железных дорог.
- Перевозка угля по железной дороге связана с потреблением горючего, что увеличивает загрязнение окружающей среды и фактически снижает эффективность.
- Вода, используемая в котлах электростанций, работающих на угле, аккумулирует загрязнители окружающей среды. При замене этой воды от них необходимо избавляться, что повышает затраты на выработку электроэнергии.

### Задача 10.1

Почему нельзя строить мощные электростанции рядом с угольными шахтами и разрезами, избавляясь таким образом от угольных поездов?

### Решение 10.1

Теоретически можно. Однако большинство доступного угля залегает далеко от основных центров сосредоточения населения. Это потребует сооружения чрезвычайно длинных линий электропередачи. Затраты на строительство, эксплуатацию и обслуживание этих ЛЭП превосходят затраты на доставку угля по железной дороге к относительно небольшим электростанциям, расположенным поблизости от конечных потребителей.

## Электростанции на нефтепродуктах

В США нефть используется в основном для обогрева и выработки горючего для транспорта, а не для теплоэлектростанций<sup>4</sup>. Хотя в некотором смысле нефть можно назвать жидким углем. Ее выкачивают из-под земли, а не добывают в шахтах или разрезах, но ее — так же, как и уголь — необходимо доставить из нефтедобывающих районов в места переработки, а оттуда — в места потребления.

---

<sup>4</sup> Использовать сырую нефть в качестве топлива в топках паровых котлов крайне не эффективно, как писал еще в XIX в. Д. И. Менделеев: «Топить нефтью значит топить ассигнациями». — *Прим. ред.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Электростанции, работающие на продуктах нефтепереработки (мазуте), подразделяются на три типа в зависимости от принципа работы — *обычные паровые, газотурбинные* и электростанции *смешанного цикла*<sup>5</sup>.

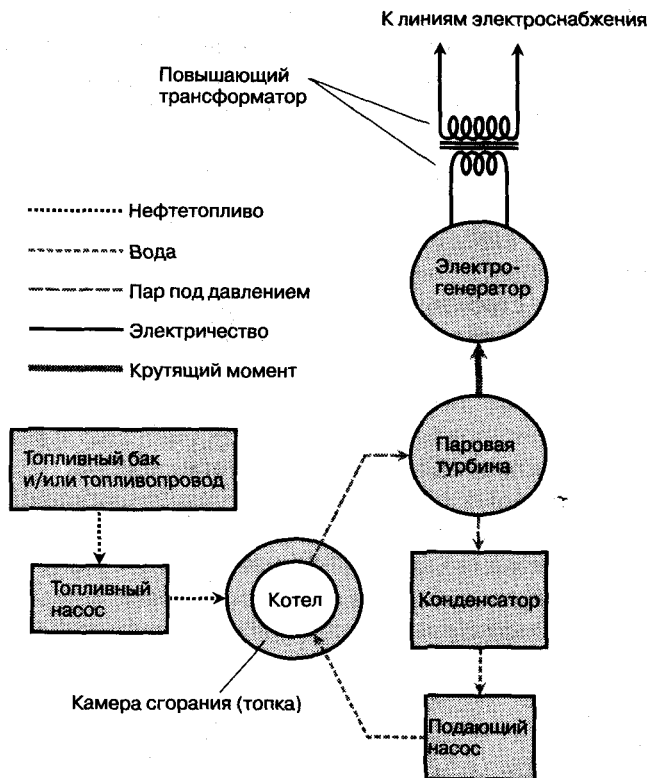
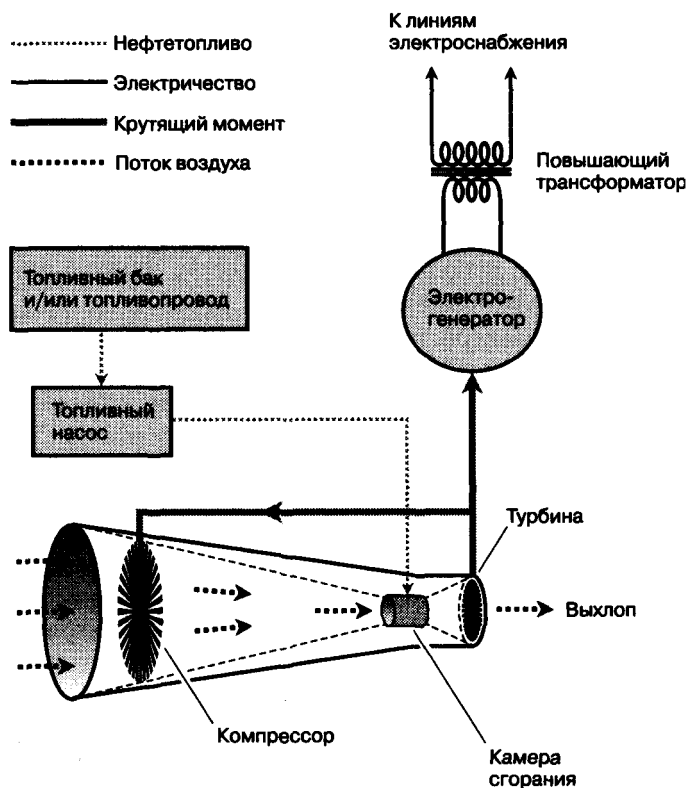


Рис. 10.3. Упрощенная функциональная схема работы электростанции на нефти с котлом и паровой турбиной

Во всех трех типах нефть после переработки доставляется на электростанцию и обычно хранится в цистернах вне станции. Доставка с нефтеперерабатывающих заводов на электростанции осуществляется как танкерами, поездами или автомобилями, так и по топливопрово-



дам<sup>6</sup>. На обычной паровой электростанции нефть сжигается практически так же, как и в домашней печи на жидком топливе, но гораздо большего масштаба. Полученная в результате горения теплота нагревает воду до кипения. Образовавшийся пар приводит в действие турбину (см. рис. 10.3). За исключением топлива эта система идентична той, что используется на электростанциях, работающих на угле. На газотурбинных электростанциях продукт горения нефтепродуктов на высокой скорости проходит через *газовую турбину*, напоминающую ветряную мельницу, способную работать на огромной скорости. Турбина вращает вал электрогенератора (см. рис. 10.4).



**Рис. 10.4.** Упрощенная функциональная схема работы газотурбинной электростанции на нефти

<sup>6</sup> ТЭС работают в основном на мазуте, о чем автор сообщит несколько позже. Мазут по нефтепроводам не поставляется. — *Прим. пер.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

Электростанции смешанного цикла оборудованы теми же агрегатами, что и газотурбинные электростанции, но выходящие из газовой турбины продукты сгорания используются для получения пара в котле, выходящий под высоким давлением пар приводит в действие вторую турбину. Таким образом для производства электричества используется большая часть энергии, и эффективность всей системы возрастает.

### ПРЕИМУЩЕСТВА МАЗУТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

- Мазут — достаточно безопасное горючее. Утечка или разлив нефти могут вызвать пожар, но не создают угрозы взрыва, как огнеопасные газы.
- Мазут — топливо с высокой плотностью. Цистерна среднего размера содержит достаточно мазута для выработки большого количества электроэнергии.
- Мазут можно смешивать с биотопливом. Большинство электростанций, работающих на мазуте, проектируются с учетом работы на такой смеси, называемой *гибридным топливом*<sup>7</sup>.
- Газотурбинные электростанции проектируются или легко модифицируются под использование в качестве топлива при необходимости угля или метана.
- Современные электростанции на мазуте загрязняют окружающую среду в меньшей степени, чем более ранние конструкции, благодаря использованию оборудования, снижающего вредные выбросы.

### НЕДОСТАТКИ МАЗУТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

- Сгорание мазута — пусть и более «чистое», чем было раньше — загрязняет окружающую среду тем же образом и такими же отходами, как и сгорание угля. Системы снижения токсичности выбросов помогают понизить уровень загрязнения, но только в том случае, если они функционируют штатно. Некоторые страны с формирующейся экономикой не могут себе позволить эффективной системы борьбы с загрязнением, что приводит к загрязнению окружающей среды и выбросам «парниковых» газов.

---

<sup>7</sup> Обычно гибридным топливом называют твердо-жидкое топливо для космических кораблей или используют при описании топливных элементов, о которых речь шла в главе 8 и пойдет в главе 12. — *Прим. пер.*



- Цена мазута напрямую зависит от цены на сырую нефть, которая может вырасти скачкообразно, и в любом случае в долгосрочной перспективе будет повышаться.
- Большинство мировой добычи нефти сосредоточено в политически нестабильных регионах мира, что повышает постоянные риски внезапных и непредсказуемых прекращений поставок.
- Временное сокращение поставок нефти также может происходить в результате природных катаклизмов — ураганов, землетрясений и повреждений (коррозии) нефтепроводов.
- Протечки и разливы нефтепродуктов наносят урон окружающей среде.
- Транспортировка сырой нефти и нефтепродуктов по морю, железным и автомобильным дорогам связана с потреблением энергии. Это фактически снижает эффективность всей системы.
- Мировые запасы нефти конечны и невозобновляемы.

### Задача 10.2

Требуют ли теплоэлектростанции установки систем охлаждения для того, чтобы предохранять оборудование от перегрева? Оказывает ли какое-либо воздействие на окружающую среду излучаемое такими электростанциями тепло?

### Решение 10.2

Ответ на оба вопроса один: «Да». Системы охлаждения не показаны на приведенных в этой главе схемах ради простоты и удобства восприятия. Теплоэлектростанции обычно располагаются около водоемов, обеспечивающих изобилие «охлаждающей жидкости» (морскую воду для использования в системах охлаждения приходится опреснять). Нагретая вода из систем охлаждения в конечном счете возвращается в источник, поднимая температуру озера, реки или океана. Это оказывает влияние на окрестную водную (морскую) флору и фауну, но это влияние не всегда отрицательное. Например, если в результате работы электростанции, расположенной на берегу северной речки, вода в ней зимой не замерзает, в холодные периоды животные будут стремиться в этот район.

## Электростанции на метане

Метан — компонент природного газа, невозобновляемое ископаемое топливо. Подземные запасы природного газа обильны, но конечны. В конце XX века в США (да и во всем мире. — *Прим. пер.*) при про-



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

изводстве электроэнергии метан начал активно вытеснять уголь, нефть и ядерную энергию. Ожидается, что зависимость от метана в первой половине XXI века только усилится. Однако с поставками природного газа и ценой на него возникают те же проблемы, что и с нефтью.

### ДОБЫЧА, ПЕРЕРАБОТКА И ТРАНСПОРТИРОВКА

Метан производится путем переработки добытого из подземных месторождений природного газа. Кроме того, его можно извлекать из угольных пластов. Богатые угольные запасы Северной Америки позволяют рассчитывать на увеличение добычи метана по этой технологии в среднесрочной перспективе. В США предложения по добыче метана из угольных пластов встречают сопротивление со стороны защитников окружающей среды и жителей тех мест, где предполагается такая добыча. Однако остальные жители приветствуют такие предложения, понимая их преимущества для местной и региональной экономики.

Есть еще один способ добычи метана: его можно получить в результате разложения органических веществ — отходов животноводства, например. Доля метана, полученного из *биомассы*, в общих запасах в данный момент крайне мала, но это — возобновляемый источник газа.

Добытый и переработанный метан поставляется на электростанции по газопроводам. Другой способ транспортировки метана — перевозка его в сжиженной форме по железным или автомобильным дорогам. Хранится сжиженный газ в специальных цистернах на электростанциях. В любом случае транспортировка метана в сжиженной или газообразной форме более опасна, чем транспортировка угля или нефти. Угольные поезда могут раздражать население, а разливы нефти загрязняют землю и питьевую воду, но утечка метана может вызвать смертельно опасный взрыв и пожар.

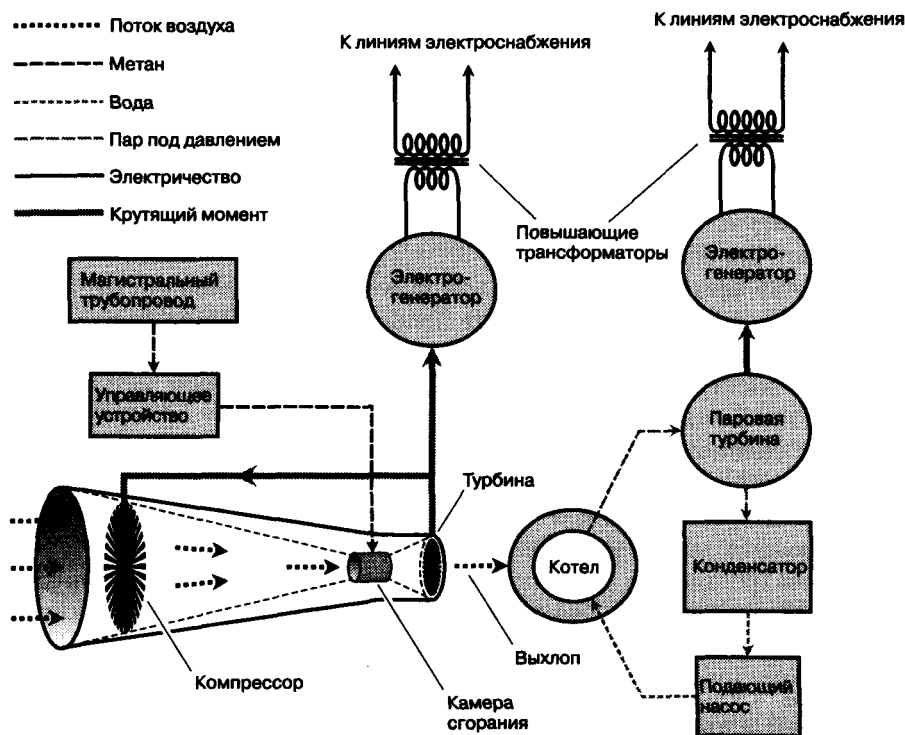
### СИСТЕМА СМЕШАННОГО ЦИКЛА

Работающие на угле паровые теплоэлектростанции после небольшой модификации могут использовать в качестве топлива метан или нефть. Однако газотурбинные электростанции и электростанции смешанного цикла чаще всего в качестве топлива применяют метан. Хорошо спроектированная электростанция смешанного цикла оказывается гораздо эффективнее старых систем, оборудованных котлами и паровыми турбинами.

На рисунке 10.5 показана упрощенная схема электростанции смешанного цикла, использующая метан в качестве горючего. Газ



подается в камеру сгорания агрегата, напоминающего гигантскую турбину самолета. *Компрессор* нагнетает в систему воздух. Горение метана нагревает воздух и продукты сгорания, которые с высокой скоростью проходят через газовую турбину. Она обеспечивает необходимую для работы компрессора энергию, а также приводит в действие вал электрогенератора. Выходящий из газовой турбины горячий воздух используется для разогрева водяного котла, а выходящий из котла пар проходит через паровую турбину и приводит в действие второй электрогенератор.



**Рис. 10.5.** Упрощенная функциональная схема работы парогазовой электростанции (смешанного цикла) на метане

Использование тепловой энергии выхлопа газовой турбины (вместо того чтобы просто выпускать его в атмосферу) позволяет повысить ее эффективность и снизить *термальное загрязнение* окружающей среды. Этот процесс в целом напоминает повторное использование





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

энергии в каталитических конвертерах современных дровяных печей, хотя он, конечно, гораздо сложнее. Однако эта система не идеальна. Пар из котла нужно заново конденсировать, что сопровождается потерями теплоты в окружающую среду. В дополнение к этому электростанции смешанного цикла нуждаются в источниках воды, а при промывке охлаждающей аппаратуры и замене воды в окружающей среду периодически сбрасывается отработанная вода.

### ПРЕИМУЩЕСТВА МЕТАНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

- Горение метана сопровождается незначительным выделением загрязняющих веществ, как твердых пылевых, так и газообразных: окисей азота, серы и углерода.
- Метан может служить промежуточным топливом при постепенном переходе на такие альтернативные источники электроэнергии, как ветер, солнечная энергия, гидроэлектрическая энергия, энергия приливов и геотермальные источники энергии.
- Электростанции смешанного типа, работающие на метане, достаточно эффективны.
- Метан широко распространен и доступен в большинстве городов и населенных пунктов, в непосредственной близости от конечных потребителей электроэнергии. Это значит, что для таких электростанций проще подобрать место, и они не требуют протяженных линий высоковольтных передач.
- Постоянное снабжение метаном можно организовать с помощью подземных газопроводов, экономя на энергопотреблении поездов и грузовиков, доставляющих горючее от перерабатывающего завода на электростанцию.
- Электростанции, работающие на метане, можно переоборудовать для использования водорода в качестве топлива, когда водород будет доступен в достаточных количествах по приемлемым ценам.

### НЕДОСТАТКИ МЕТАНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

- При утечках метана в атмосферу образуется взрывоопасная газовая смесь. В большинстве случаев метану искусственным путем придают характерный запах, который легко распознать. Это предупреждает людей о возможных утечках газа.
- Недавние скачкообразные изменения цен на природный газ и перебои с его поставками подпортили его репутацию надежного источника энергии.



- Мировые запасы природного газа конечны. Природный газ не является возобновляемым источником энергии (если не учитывать метана, получаемого из биомассы).
- Разведка и добыча природного газа могут оказывать вредное воздействие на окружающую среду: вызывать эрозии, ускорять водостоки, увеличивать риски схода селей и наводнений.
- Безответственная разведка и добыча природного газа может нанести вред естественным ареалам обитания диких животных или нарушать их миграционные пути.
- Горение метана сопровождается выделением углекислоты ( $\text{CO}_2$  — так называемого «парникового» газа). Сам по себе метан также является «парниковым» газом. Любое количество метана, выброшенное в атмосферу в процессе разведки, добычи или эксплуатации, усиливает парниковый эффект<sup>8</sup>.

### Задача 10.3

Метан широко используется для обогрева домов. Если электростанции будут все в большей степени зависеть от метана, не поставит ли это под угрозу поставки природного газа в целом, вызвав еще более серьезные проблемы с учетом зимних скачков цен и локального дефицита?

### Решение 10.3

Это серьезная проблема и один из главных аргументов сторонников более активного строительства и эксплуатации атомных электростанций, гидроэлектростанций, а также солнечных, ветряных, геотермальных и даже угольных теплоэлектростанций.

## Автономные электрогенераторы

Для обеспечения электричеством отдельных домов, предприятий, больниц и правительственных учреждений могут применяться *автономные электрогенераторы* небольших и средних размеров. Некоторые электрогенераторы подходят даже для туристов. Для тех, кто живет в удаленных районах, автономный электрогенератор может быть главным, если не единственным источником электричества.

---

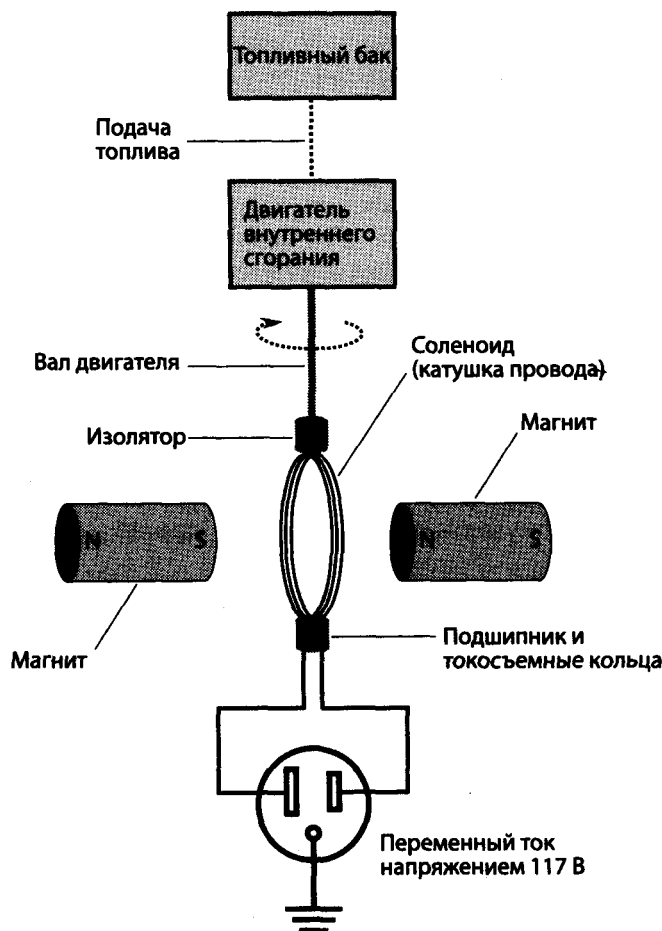
<sup>8</sup> Метан в 25 раз активнее разрушает озоновый слой по сравнению с  $\text{CO}_2$ . — *Прим. ред.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

На рисунке 10.6 представлена упрощенная схема типичного автономного электрогенератора. Показанный на диаграмме аппарат вырабатывает обычный для портативных американских генераторов переменный ток напряжением в 117 вольт для небольших бытовых приборов — ламп, радио и т. п. Мощная бытовая техника — электрические кухонные плиты или стиральные машины, — которая в США потребляет переменный ток напряжением в 234 вольта, запитывается от более мощных генераторов.





Мощность двигателя таких генераторов варьируется от нескольких лошадиных сил (сравнимо с электромотором газонокосилки) до нескольких сотен лошадиных сил (сравнимо с двигателями грузовиков, тракторов и строительной техники). В большинстве небольших генераторов в качестве горючего используется бензин, а в более мощных — дизельное топливо, пропан или метан.

В генераторе переменного тока подсоединенный к валу двигателя внутреннего сгорания соленоид (катушка провода) вращается внутри пары мощных магнитов. Если к соленоиду подведена нагрузка, между его концевыми зажимами возникает переменный ток, так как провода обмотки постоянно пересекают *линии магнитной индукции*, генерируемые магнитами, сначала в одну сторону, потом в другую. В других моделях неподвижным остается соленоид, а магниты вращаются вокруг него. Сила переменного тока, вырабатываемого генератором, зависит от мощности магнитов, количества витков в обмотке соленоида и скорости вращения. Частота тока зависит только от скорости вращения. В США она составляет 3600 оборотов в минуту (3600 об/м), или 60 оборотов в секунду (60 об/с), поэтому выходная частота составляет 60 циклов (колебаний) в секунду, или 60 Гц. При работе разных двигателей скорость вращения остается постоянной — ее контролируют автоматические регуляторы.

Когда к выходу генератора подключается нагрузка, вращать вал генератора становится механически тяжелее, чем когда он работает вхолостую. Чем больше электрическая нагрузка, требуемая от генератора, тем больше должно быть механическое усилие, необходимое для того, чтобы приводить его в движение, что повышает потребление топлива. Электрическая энергия, создаваемая генератором, всегда меньше, чем механическая работа, затраченная на ее выработку. В основном энергия теряется на нагрев деталей генератора. КПД (коэффициент полезного действия), т. е. эффективность работы генератора, — это выраженное в процентах отношение выходной электрической мощности генератора к механической мощности привода. Обе эти величины измеряются в одних и тех же единицах (ваттах или киловаттах). Ни один генератор не может иметь 100%-ного КПД, но лучшие модели показывают достаточно близкие к этой величине результаты.

Типичный бензиновый генератор производит электрический ток мощностью от 1 до 5 киловатт (кВт). Простейшие модели генераторов могут вызывать сбои в работе чувствительной электроники, но качественно сконструированные модели (даже небольшие бензиновые генераторы) — если их поддерживать в рабочем состоянии — вполне



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

способны бесперебойно обеспечивать электроэнергией компьютеры и другие сложные устройства. Дизельные, пропановые или метановые генераторы средней мощности могут вырабатывать несколько десятков киловатт и обеспечивать электричеством целые дома или предприятия. Крупные учреждения обычно используют несколько генераторов. Если их поддерживать в надлежащем состоянии, они способны работать с любым оборудованием, даже с самыми сложными и чувствительными медицинскими приборами.

Автономный аварийный генератор можно использовать только в том случае, когда вся проводка в здании полностью изолирована от всех электроприборов при помощи *двухполюсных изолирующих выключателей на два направления*, иначе возможно возникновение так называемого *обратного тока*, опасного для коммунальных работников и электротехники. В США оснащение помещений двухполюсными изолирующими выключателями требуется *Государственным электрическим стандартом* (правил безопасности при установке и работе с электрооборудованием).

### ПРЕИМУЩЕСТВА АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ

- При правильном обслуживании и использовании автономный электрогенератор предотвращает едва ли не все неудобства, связанные с отключением электроснабжения.
- В чрезвычайных обстоятельствах — в госпиталях, например — резервный автономный электрогенератор может спасти жизнь.
- Должным образом установленный, эксплуатируемый и обслуживаемый автономный генератор обеспечивает электроэнергию в любой момент, когда она требуется, и настолько долго, насколько это необходимо. Обособленные альтернативные источники энергии, такие как фотоэлектрические (солнечные) или ветровые генераторы, на это, как правило, не способны.
- Хорошо сконструированные генераторы, поддерживающиеся в рабочем состоянии, износостойки, надежны и достаточно эффективны.
- Автономные генераторы легко адаптируются к разным видам топлива. Так, дизель-генераторы, работающие на горючем, производимом из нефти, можно адаптировать под применение биодизельного топлива. Генераторы, работающие на метане, могут использовать как метан, полученный в результате биологических процессов, так и более привычный метан, производимый путем переработки природного газа или угля.



### НЕДОСТАТКИ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ

- Выхлоп автономных электрогенераторов содержит такие же вредные выбросы, которые образуются при топке печей и котлов или при работе автомобильных двигателей.
- Автономные электрогенераторы могут быть опасными. Необходимо строго соблюдать все инструкции и правила техники безопасности при работе с электричеством.
- Автономный генератор требует постоянного снабжения топливом. В случае, если он работает на бензине, дизельном топливе или пропане, необходимо оборудовать соответствующее хранилище на месте.
- Работающие на метане автономные генераторы без бесперебойного обеспечения горючим прекращают функционирование. Обеспечение же может прерываться в результате природных возмущений, например землетрясений. Поставщики газа обычно в таких случаях отключают его подачу для предотвращения взрывов, происходящих при прорыве газопровода.

#### Задача 10.4

Я бы хотел построить энергетически независимое «убежище», скажем, где-то в пустыне Северной Невады. Там зимой холодно, но солнечно, постоянный ветер, который тоже может служить надежным источником электроэнергии. Я бы также хотел установить резервный автономный генератор в дополнение к солнечной и ветряной независимым системам выработки электроэнергии. Эта идея осуществима?

#### Решение 10.4

Если у вас в распоряжении есть все эти три источника энергии, вам не придется беспокоиться об отключениях энергоснабжения. Удостоверьтесь, что вам достаточно топлива для автономного генератора на случай затяжной облачной и безветренной погоды. Помните, что подобные комплексные системы, обеспечивающие независимость от коммунальных служб, обойдутся вам в кругленькую сумму. Топливо и обслуживание таких систем повлекут дополнительные расходы. Необходимо также точно определить масштаб каждого элемента всей системы для того, чтобы она в любое время могла обеспечить вам требуемое количество электроэнергии. Если разные элементы системы имеют общую проводку, вам понадобится помощь опытного инженера, иначе конфликты между элементами системы (например,



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

так называемый *круговой огонь*, или *кольцевое искрение*, т. е. падение напряжения) могут создать проблемы. Такое падение напряжения, способное повредить как отдельные элементы системы, так и подключенное к ней электрооборудование, возникает, когда волны от двух или более источников переменного тока не синхронизированы друг с другом по фазе (не идут идеальным каскадом).

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отвечая на эти вопросы, вы можете пользоваться текстом книги. Восемь правильных ответов — хороший результат. Ответы помещены в конце книги.

1. Метан можно получить из:
  - (а) диоксида углерода;
  - (б) бензина;
  - (в) угля;
  - (г) окислов азота.
2. Если скорость вращения вала, соединенного с соленоидом электрогенератора, изменится, что из перечисленного ниже произойдет?
  - (а) изменится частота переменного тока;
  - (б) снизится сопротивление нагрузки;
  - (в) уменьшится потребляемая нагрузкой мощность;
  - (г) все вышеперечисленное.
3. Что из перечисленного ниже является (если является) преимуществом «угольного поезда» перед сверхдальними высоковольтными линиями передачи при снабжении конечных потребителей электричеством, вырабатываемым на угольных электростанциях?
  - (а) «угольные поезда» дешевле в эксплуатации, чем строительство и обслуживание сверхдальних высоковольтных ЛЭП;
  - (б) «угольные поезда» не создают никаких серьезных проблем, в отличие от ЛЭП, выбрасывающих в атмосферу опасное загрязнение — окислы серы и азота, а также угарный газ (СО);
  - (в) «угольные поезда» требуют меньше горючего на километр доставки электроэнергии, чем сверхдальние ЛЭП;
  - (г) у «угольных поездов» нет никаких преимуществ перед сверхдальними ЛЭП.



4. Кольцевое искрение и обратный ток между двумя источниками переменного тока можно предотвратить:
  - (а) подключив проводку к одному полюсу каждого источника тока;
  - (б) используя трехфазный провод с заземлением для каждого источника тока;
  - (в) изолировав проводку от каждого источника тока;
  - (г) не пользуясь двумя источниками тока одновременно.
5. Современные паротурбинные теплоэлектростанции, работающие на угле, можно переоборудовать для использования другого горючего. Какого?
  - (а) метана;
  - (б) оксида углерода;
  - (в) окислов азота;
  - (г) сернистого газа (диоксида серы).
6. На электростанции смешанного цикла крутящий момент (сила, заставляющая вращаться), приводящий в движение генераторы, подается непосредственно от:
  - (а) газовых и паровых турбин;
  - (б) повышающих трансформаторов;
  - (в) водяных котлов;
  - (г) горения нефти или метана.
7. Если поднять напряжение в линии электропередачи в 50 раз при сохранении нагрузки и сопротивления, *сила тока* в линии составит:
  - (а) ту же величину (не изменится);
  - (б) возрастет в 50 раз;
  - (в) уменьшится в 50 раз;
  - (г) ни одно из перечисленных выше значений.
8. Если поднять напряжение в линии электропередачи в 50 раз при сохранении нагрузки, *потери электроснабжения* составят:
  - (а) ту же величину (не изменятся);
  - (б) возрастут в 50 раз;
  - (в) уменьшатся в 50 раз;
  - (г) ни одно из перечисленных выше значений.
9. Угрозу для здоровья, возникающую из-за ЛЭП, можно уменьшить:





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- (а) максимизировав частоту переменного тока в линии;
  - (б) минимизировав силу тока в линии;
  - (в) максимизировав потребляемую нагрузку;
  - (г) минимизировав сопротивление нагрузки.
10. Компонентом турбинной теплоэлектростанции, работающей на нефти, НЕ является:
- (а) трансформатор;
  - (б) компрессор;
  - (в) газовая турбина;
  - (г) pulverизатор.

# Глава 11

## Гидро- и ветроэнергетика

Движущаяся вода и ветер — одни из самых естественных источников альтернативной энергии. Ничто на нашей планете не является абсолютно неисчерпаемым, но на практике энергия, доступная нам из этих двух источников, наиболее близка к идеалу. Лишь солнечную энергию с большей долей правоты можно назвать вечной<sup>1</sup>.

### Большие и средние гидроэлектростанции

В США бум строительства гидроэлектростанций пришелся на начало XX века. С течением времени возникали и другие электростанции — работающие на угле, нефти, метане или ядерные. Сегодня в Америке лишь небольшая доля электроэнергии производится гидроэлектростанциями. Они существуют трех типов. Какой из них является наилучшим в данной конкретной ситуации, определяется типом местности, существующим и предполагаемым спросом на электроэнергию, уровнем воздействия электростанции на окрестный животный и растительный мир, качество воды, сельское хозяйство, а также общий уровень жизни.

#### ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ИСКУССТВЕННЫМИ ВОДОХРАНИЛИЩАМИ

*Гидроэлектростанция с искусственным водохранилищем* состоит из дамбы (плотины) и резервуара. Этот тип электростанций наилучшим образом подходит для холмистой или горной местности, где можно строить высокие плотины и создавать обширные и глубокие искусственные водохранилища.

Энергия, которую может обеспечить водохранилище, зависит от массы воды, собранной в нем, а также от общей глубины водохранилища. Потенциальная энергия, которой обладает заданный объем

---

<sup>1</sup> В принципе все виды энергии, кроме геотермальной энергии пластов земли, можно отнести к производным от солнечной энергии. — *Прим. ред.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

воды, измеряется в *ньютон-метрах* ( $H \times m$ ). Ньютон — стандартная единица измерения силы, эквивалентная силе, сообщающей телу массой в 1 кг ускорение в 1 метр в секунду за секунду ( $1 \text{ м/с}^2$ ). Таким образом, потенциальная энергия данного объема воды составит массу этого объема, умноженную на ускорение свободного падения (около  $9,8 \text{ м/с}^2$  у поверхности Земли), умноженную на высоту падения воды (т. е. на вертикальное расстояние, которое вода преодолевает при выходе из водохранилища). Соответствующая единица измерения кинетической энергии — *джоуль* (Дж), которая фактически равна ватту в секунду ( $\text{Вт} \times \text{с}$ ).

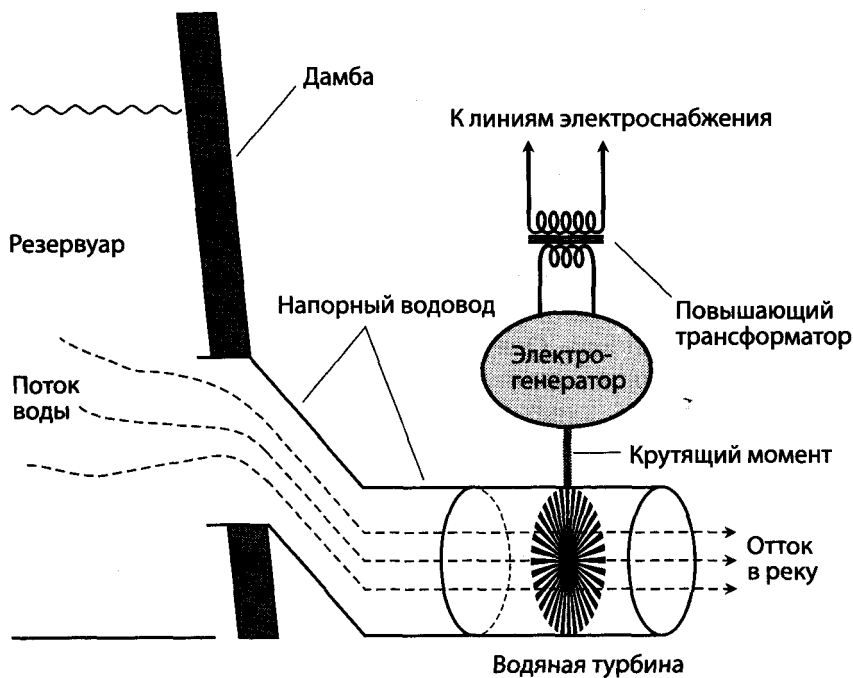


Рис. 11.1. Упрощенная функциональная схема работы гидроэлектростанции с искусственным водохранилищем

На рисунке 11.1 изображена упрощенная схема работы гидроэлектростанции с искусственным водохранилищем. Вода из водохранилища по *напорному водоводу* поступает к одной или нескольким турбинам, приводящим в действие электрогенераторы. Напряжение электрического тока, вырабатываемого генераторами, повышается



при помощи повышающих трансформаторов, и дальше ток по линиям электропередачи передается в сеть.

### ДЕРИВАЦИОННЫЕ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

При строительстве *деривационных ГЭС* часть потока реки отводится через канал или трубопровод и подается на турбину — для таких гидроэлектростанций плотина не требуется. Этот тип ГЭС лучше всего подходит для мест с резким перепадом высот: естественные водопады и стремнины (пороги) — идеальные условия для строительства таких гидроэлектростанций. Главное их преимущество — отсутствие плотины и, как следствие, гораздо меньшее воздействие на окружающую среду.

Малые и средние деривационные ГЭС можно возводить даже у горных ручьев и других небольших и быстрых речек для обеспечения электричеством отдельных домов или земельных участков. Такие системы могут снабжать электричеством термоэлектрические обогревательные элементы, описанные в главе 3. Однако малые и средние деривационные гидроэлектростанции не смогут работать, если питающий их небольшой поток пересохнет или промерзнет до дна.

### ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИЕ (НАЛИВНЫЕ) СТАНЦИИ

При строительстве *гидроаккумулирующих (наливных) станций* на разной высоте сооружаются два или больше аккумулирующих бассейна. В периоды падения потребительского спроса на электричество излишки энергии используются для того, чтобы перекачать воду из нижнего бассейна в верхний (верхние). Когда спрос возрастает (в утренние и вечерние часы. — *Прим. пер.*), накопленная в верхнем бассейне потенциальная энергия (вода) выпускается определенными порциями через напорные водоводы к турбинам для выработки требуемого электричества.

Для строительства аккумулирующих бассейнов требуется сооружение плотин. Они обычно меньше, чем те, которые сооружаются для ГЭС первого типа. Гидроаккумулирующие электростанции, как правило, строятся в холмистой или пересеченной местности при условии, что перепад высот между верхним(и) и нижним(и) бассейном (бассейнами) достаточно большой.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

- Работа ГЭС не сопровождается выделением угарного газа и углекислоты, окислов азота и серы, пылевых загрязнителей и других вредных отходов, не загрязняет почву. Некоторое коли-



чество тепла, образующегося из-за трения движущихся частей турбины, передается протекающей воде, но это количество редко бывает большим.

- Вода — возобновляемый источник энергии. По крайней мере до тех пор, пока ручьи и реки не пересохнут. Гидрологический цикл (круговорот воды в природе) пополняет источники потенциальной энергии за счет дождей, снегопадов и водостока.
- Производительность ГЭС легко контролировать, изменяя скорость водяного потока (объем воды, подводимый к турбинам).
- Водохранилища, сооружаемые для гидростанций, можно использовать в качестве зон отдыха, порой вокруг них складывается поистине захватывающий пейзаж.
- Вода в искусственных водохранилищах, как правило, чистая, так как примеси осаждаются на дне. Эту воду можно использовать для питья, мытья, купания и ирригации.

### НЕДОСТАТКИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

- Большие водохранилища затопляют значительные участки земли, которые могли бы использоваться с другими целями. Целые города становились жертвами водохранилищ, что вызывало массовые переселения, недовольство и экономические трудности.
- Разрушение или авария плотины большой ГЭС практически неминуемо вызывает катастрофическое наводнение ниже по течению реки.
- Сооружение ГЭС неэффективно в равнинных районах.
- Протяженная засуха снижает и может даже прервать производство электроэнергии на ГЭС.
- Уровень воды в искусственных водохранилищах постоянно и резко меняется. На их берегах строить загородные дома не стоит!
- Плотина снижает уровень растворенного в воде кислорода, поскольку нормальное течение реки практически останавливается. Это может привести к гибели рыбы в искусственном водохранилище и поставить под угрозу растительную жизнь в самом водохранилище и вокруг него.
- Плотина может нарушить нерестовый цикл рыбы. С этой проблемой можно бороться, сооружая *рыбоходы* и *рыбоподъемники* в плотине или перемещая рыбу в места нереста с помощью ловушек и сетей. Однако это приводит к удорожанию строительства и эксплуатации ГЭС.



## Задача 11.1

С учетом всех проблем использования природного топлива и ядерной энергии для производства электричества почему бы не сооружать больше гидроэлектростанций? В мире огромное количество рек. Разве не стоит строить как можно больше гидроэлектростанций?

## Решение 11.1

Большинство мест для строительства гидроэлектростанций уже используются. Количество плотин и водохранилищ, которые можно построить на реке, ограничено. Энергия, отбираемая электростанцией у реки, уже не может использоваться ниже по течению. Если на реке построить слишком много электростанций, неминуемы экономические конфликты, связанные с распределением энергии.

## Малая гидроэнергетика

Для сооружения *малых ГЭС*, как правило, используется технология деривации (отведения части потока), хотя иногда для них и создают небольшие искусственные водохранилища. Небольшая турбина на быстрой речке или речном пороге достаточной высоты, предназначенная для обеспечения электричеством жилого дома или отдельного предприятия, способна давать до 20 кВт электричества, чего вполне достаточно даже в часы пиковой нагрузки.

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Малые гидроэлектростанции могут быть автономными и интерактивными. Интерактивные гидроэлектростанции могут быть оснащены аккумуляторами, а могут обходиться без них. Такие гидроэлектростанции также называются *межсистемными*, или *межсетевыми*.

Автономная гидроэлектростанция оснащается блоком перезаряжаемых батарей, способных частично или целиком накапливать производимую электроэнергию. Аккумуляторы применяются в качестве вспомогательного источника энергии или резервного — на случай, если турбина не работает. Аккумулирующая интерактивная система использует для подзарядки аккумуляторов электричество, поставляемое коммунальными службами (сетевое электричество), а не то, что вырабатывается турбиной. При применении интерактивной системы без аккумуляторов излишки электроэнергии в период минимального потребления продаются коммунальной службе, поставляющей электричество в сеть, а в периоды повышенного потребления выкупаются обратно у этой же компании. В некоторых штатах США предлагаются



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

хорошие условия компенсационных сделок (выкупа электроэнергии) с коммунальными компаниями, в некоторых — нет. Дополнительную информацию о том, как работают подобные системы, вы найдете в разделе «Малая ветроэнергетика» в этой главе. Принципы работы малых электростанций практически одинаковы, невзирая на то, что именно служит источником энергии — вода, ветер или солнце.

### ПРЕИМУЩЕСТВА МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

- Малые ГЭС снижают или вовсе снимают энергетическую зависимость от коммунальных служб.
- Водный поток — постоянный источник энергии, если он достаточно большой и быстрый. Он более надежен, чем ветер или солнце (если не пересохнет или не промерзнет до дна).
- Малые ГЭС практически не загрязняют окружающую среду. Небольшое количество тепла, образующегося из-за трения движущихся частей турбины, передается протекающей воде, но оно незначительно.
- Электричество, производимое малой ГЭС, можно использовать для дополнительного обогрева или испарительного охлаждения.

### НЕДОСТАТКИ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

- Немногие могут похвастать тем, что живут на участках земли, по которым текут реки или ручьи, подходящие для строительства малой ГЭС.
- Небольшой ручей может периодически пересыхать или промерзать, останавливая работу системы.
- Водяная турбина требует значительной массы воды для работы, а также значительного перепада высот для того, чтобы вырабатывать достаточное количество энергии (допустим, для обогрева дома). Для создания этих условий может потребоваться строительство небольшой плотины или искусственного водоппада, что, в свою очередь, может быть запрещено природоохранным или иным законодательством.
- Затраты на сооружение даже малой ГЭС весьма высоки. Она долго окупается, и высокие стартовые вложения могут свести на нет экономическую выгоду от ее использования.

### Задача 11.2

Я бы хотел установить малую автономную ГЭС на своем ранчо. По его территории протекает достаточно полноводный ручей. Квали-



фицированный инженер произвел все необходимые расчеты. Перепад высот достаточен, и приток воды высок на протяжении всего года. Мне необходимо построить небольшую плотину, чтобы сделать запас воды в озере. Разрешения от местных властей, властей штата и федеральных властей получены. Но я беспокоюсь о том, какое воздействие эта система окажет на окружающий животный и растительный мир.

## Решение 11.2

Ответ на этот вопрос лучше всего дает сбор как можно большего спектра мнений. Натуралисты из ближайшего университета вполне смогут предложить свои соображения. Можно ожидать, что пруд будет привлекать птиц, рыб и других животных (как желательных, так и нежелательных).

## ПРИЛИВНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Океанические приливы вызываются взаимодействием гравитационных полей Луны и Солнца с вращением Земли вокруг своей оси. Упрощая, можно сказать, что приливы — это волны, обладающие чрезвычайно длинным *периодом* (временем полного колебательного цикла) с двумя (в большинстве мест) *гребнями* (наивысшие точки прилива) и двумя *впадинами* (низшие точки отлива) ежедневно.

## ПРИЛИВНАЯ ПЛОТИНА

*Приливная плотина* напоминает небольшую дамбу с двумя *шлюзами* (водоспусками), которые могут открываться и закрываться, позволяя воде перетекать из одного бассейна в другой за счет разницы высот. Это течение приводит в действие турбину, подсоединенную к электрогенератору. Схема работы такой системы показана на рис. 11.2.

Во время прилива бассейн наполняется через большой канал (на схеме не показан) до тех пор, пока прилив не достигает наивысшей точки (гребня). В это время шлюзы закрыты, и турбина не работает. В апогей прилива уровень воды в бассейне соответствует уровню моря вне бассейна. С началом отлива уровень моря понижается, и бассейн начинает работать как резервуар: шлюзы открываются, и вода проходит сквозь турбину, приводящую генератор в действие. В максимальной точке отлива вода все еще продолжает поступать через турбину, но вскоре уровень воды в океане повышается (начинается новый прилив), и уровни воды в океане и бассейне вы-





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

равняются. Шлюзы вновь закрываются, турбина останавливается, и бассейн снова наполняется с приливом.

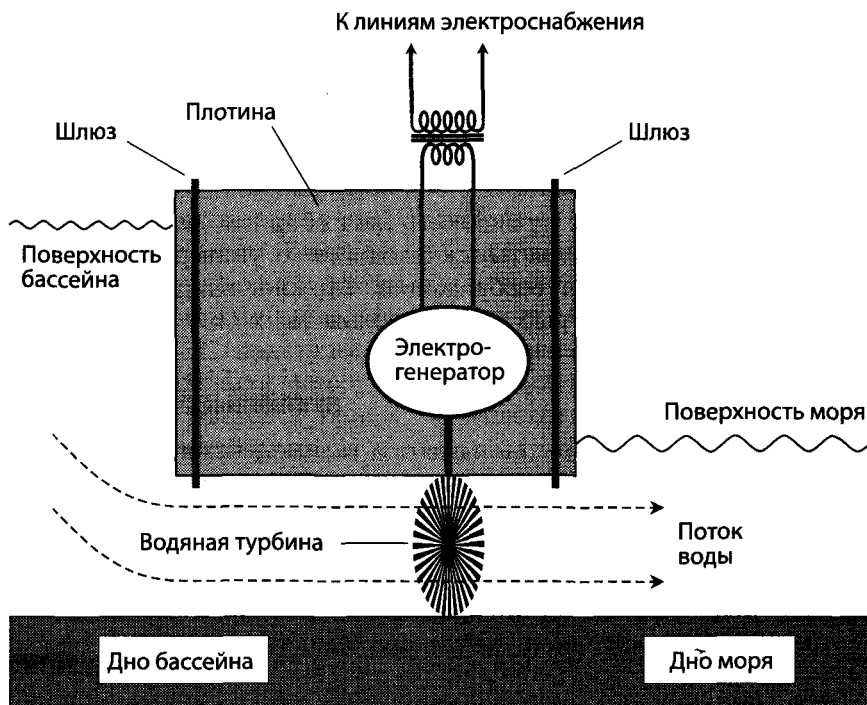


Рис. 11.2. Упрощенная функциональная схема работы приливной электростанции

Другая модель электростанции позволяет использовать энергию как прилива, так и отлива. Для этого сооружаются два бассейна: в одном из них уровень воды всегда выше уровня моря, в другом — всегда ниже. В идеальном случае приливная ГЭС эксплуатирует две работающие попеременно системы, подобные показанной на рис. 11.2. Турбины, установленные в них, направлены в противоположные стороны.

### ДОННЫЕ (ПРИЛИВНО-ОТЛИВНЫЕ) ТУРБИНЫ

Приливы и отливы порождают течения в непосредственной близости от неровной береговой линии. *Прибрежные течения* направлены параллельно берегу, *обратные течения* образуют крупные во-



довороты у побережья. Подобные приливным волнам течения также могут возникать в результате крупных штормов в открытом океане. Кроме того, в разных частях мирового океана существуют крупные постоянные течения. Одним из самых известных таких течений является *Гольфстрим*, берущий начало в Мексиканском заливе, огибающий полуостров Флорида и пересекающий Атлантический океан к Британским островам. Другой пример — Аляскинское течение, северная ветвь Северо-Тихоокеанского течения, движущееся вдоль берегов залива Аляска с юга на север и далее с востока на запад.

*Донные турбины* очень похожи на ветряные турбины (описаны ниже в этой главе). Приливная турбина и ее опора закрепляются на морском дне. Несколько таких турбин образуют *приливной турбинный парк*. Каждая турбина подсоединена к электрогенератору. Вся система находится под водой, с поверхности ее не видно. Скорость океанических течений ниже скорости ветра, но вода в сотни раз плотнее воздуха, и давит она на единицу площади лопастей турбины с гораздо большей силой. Поэтому приливные турбины гораздо меньше ветряных.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИЛИВНЫХ ГЭС

- Приливы — возобновляемый, надежный и предсказуемый источник энергии.
- В районах, где велика разница между высшей и низшей точкой прилива и отлива, отливные и приливные течения можно использовать для постоянной выработки электричества.
- Приливные ГЭС, так же как и обычные ГЭС, не производят угарного газа ( $\text{CO}$ ), углекислоты ( $\text{CO}_2$ ) и окислов азота и серы, пылевых загрязнителей и других вредных отходов, не загрязняют почву. Небольшое количество тепла, образующегося из-за трения движущихся частей турбины, передается в океан, но оно незначительно.
- Приливные ГЭС — это экзотика для некоторых людей. Строительство приливной ГЭС может стимулировать туризм в регионе, принося дополнительную прибыль.
- Приливную плотину можно использовать для строительства железной или автомобильной дороги через залив или лиман.
- Техническое обслуживание приливных ГЭС несложно. Турбины рассчитаны на срок работы не менее 30 лет, а приливная плотина — несложное сооружение само по себе. Однако затраты на строительство приливных ГЭС все же значительны.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Донные турбины целиком находятся под водой. Если они установлены на достаточной глубине, они не будут представлять угрозы для морского транспорта.

### НЕДОСТАТКИ ПРИЛИВНЫХ ГЭС

- Строительство приливной плотины требует значительных инвестиций, однако поддержание ее в рабочем состоянии не так дорого.
- Сооружение донных турбин осложняется тем, что наилучшие места для их установки (районы приливо-отливных течений) находятся в ненадежных водах, у сильно изрезанных берегов.
- Приливные ГЭС могут оказывать негативное влияние на морскую флору и фауну. Крупная рыба, черепахи и морские животные могут погибнуть, попав под лопасти турбины, а особо крупный «улов» такого рода может повредить турбину. Особенную опасность для морских обитателей представляют приливные ГЭС с плотинами.
- Приливная плотина создает водный резервуар вне естественных границ залива или лимана, изменяя его характеристики. Это оказывает влияние на *мутность воды* и на уровень ее *седиментации* (отложения наносов на дне).
- Ошибки при строительстве и эксплуатации приливной ГЭС могут вызвать локальное наводнение.

### Задача 11.3

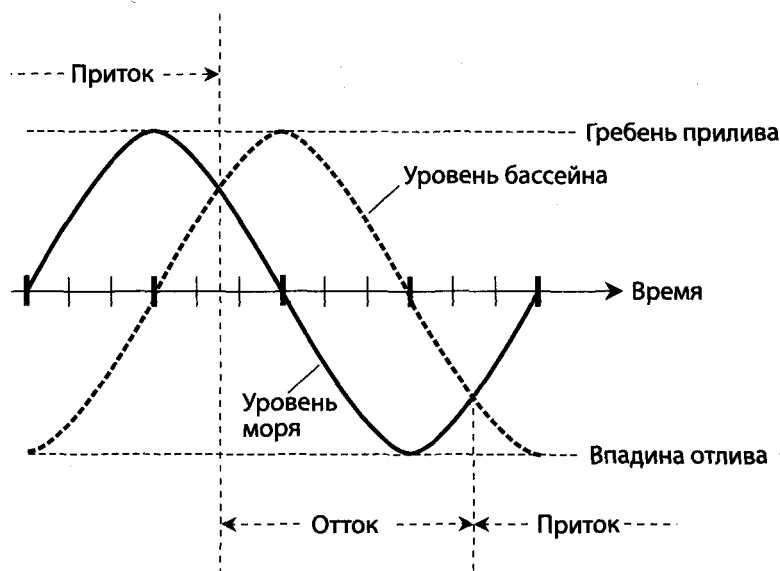
Почему для обеспечения постоянной работы приливной ГЭС нужны две работающие попеременно системы, подобные представленной на рис. 11.2? Разве невозможно разработать приливную ГЭС с одним бассейном, которая использовала бы как приливное, так и отливное течение, производя электричество бесперебойно?

### Решение 11.3

Можно создать систему с приливной плотиной и одним резервуаром, которая будет производить энергию *почти* бесперебойно, но добиться постоянной выработки невозможно из-за технической специфики приливов-отливов. Предположим, есть система с двумя шлюзами (назовем их *впускной шлюз* и *выпускной шлюз*), через каждый из которых вода подводится к соответствующей турбине. Предположим также (для простоты), что система сконструирована таким образом, что резервуар наполняется целиком с отставанием



в одну четверть полного приливного цикла (т. е. вода в резервуаре достигает своего наивысшего уровня на одну четверть полного цикла прилива позже, чем сам прилив достигает своего гребня). Когда уровень воды в резервуаре выше, чем уровень моря, вода проходит через выпускной шлюз; выпускной шлюз в это время закрыт. Когда уровень воды в резервуаре ниже, чем уровень моря, вода проходит через впускной шлюз; выпускной шлюз в это время закрыт. Таким образом, резервуар и море создают «приливные волны» одинаковой силы, отстоящие друг от друга по времени (рис. 11.3).



**Рис. 11.3.** Приливная плотина, в которой гребни прилива в бассейне отстают от гребня прилива моря на четверть приливо-отливного цикла

Энергия, производимая в данный конкретный момент времени, зависит от разности высот между уровнем моря и уровнем воды в резервуаре — на рисунке они отображаются расстоянием по вертикали между двумя точками (в один и тот же момент времени) на соответствующих кривых. Точки пересечения кривых отражают моменты, когда уровень моря и уровень воды в резервуаре одинаков — в это время энергия не вырабатывается. К сожалению, подобная система производит энергию неравномерно. Более того, она не способна выработать за один цикл прилива больше энергии, чем



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

обычная приливная ГЭС с одной турбиной. Наиболее эффективный и экономически целесообразный способ получать энергию с помощью приливной ГЭС состоит в эксплуатации двух или более попеременно работающих систем, подобных представленным на рис. 11.2, причем они должны иметь независимые резервуары, а их циклы работы должны быть рассчитаны таким образом, чтобы в любой момент времени функционировала хотя бы одна из них.

### Волновые электростанции

В больших акваториях, где велик *нагон* (область образования ветровых волн), т. е. пространство, где ветер дует над поверхностью воды, трение между воздухом и поверхностью воды вызывает *рябь*, переходящую в *зыбь*, потом в *волны*, а потом — в *валы* (волны с наибольшим периодом и длиной). Такие океанические волны около берега обычно достигают от 1 до 3 м в высоту (от подошвы до гребня). Некоторые — например, возникающие вследствие взаимодействия больших зон с низким давлением и ураганов — могут достигать до 25 м от подошвы до гребня. Валы вполне способны производить полезную энергию. В обычном случае эта энергия рассеивается в *прибое*, когда валы достигают берега. *Волновой электрогенератор* способен превратить энергию морских валов в электроэнергию.

#### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Бывали ли вы в бассейнах с искусственными волнами? Эти волны делают, закачивая и выкачивая воздух из частично погруженной в воду камеры. Если эта камера герметична (изолирована от воды и воздуха) во всех точках, находящихся выше уровня воды (кроме отверстия, к которому подведен насос), но проницаема для воды в любой точке ниже уровня воды, вода в камере циклически поднимается и опускается «в такт» с поступлением воздуха в камеру и выкачиванием его оттуда. Волнопродуктор (устройство для создания искусственных волн) преобразует механическую энергию (накачки воздуха) в энергию, распространяющуюся по воде в виде волн.

Теперь представьте тот же самый процесс, но в обратном порядке. Предположим, на некотором расстоянии от берега в бурном море помещена некая камера. Она, как и устройство для создания искусственных волн, имеет сверху (над уровнем воды) отверстие. Если эта камера надежно закреплена на морском дне и не движется вверх и вниз, водяные валы, проходя через нее, повышают и понижают уровень воды внутри камеры. Сама поверхность воды внутри



камеры в принципе остается плоской, и колебания воды выталкивают и втягивают воздух в камеру через отверстие сверху. В отверстии установлена *воздушная турбина*, подобная газовой турбине в двигателе реактивного самолета. Выталкиваемый и втягиваемый воздух вращает турбину, и результирующий механический вращательный момент приводит в действие электрогенератор. Произведенная генератором электроэнергия преобразуется в *преобразователе энергии* в переменный электрический ток частотой 60 Гц (или 50 Гц в Европе) и передается в линии электропередачи. На рисунке 11.4 представлена принципиальная схема работы подобной системы.

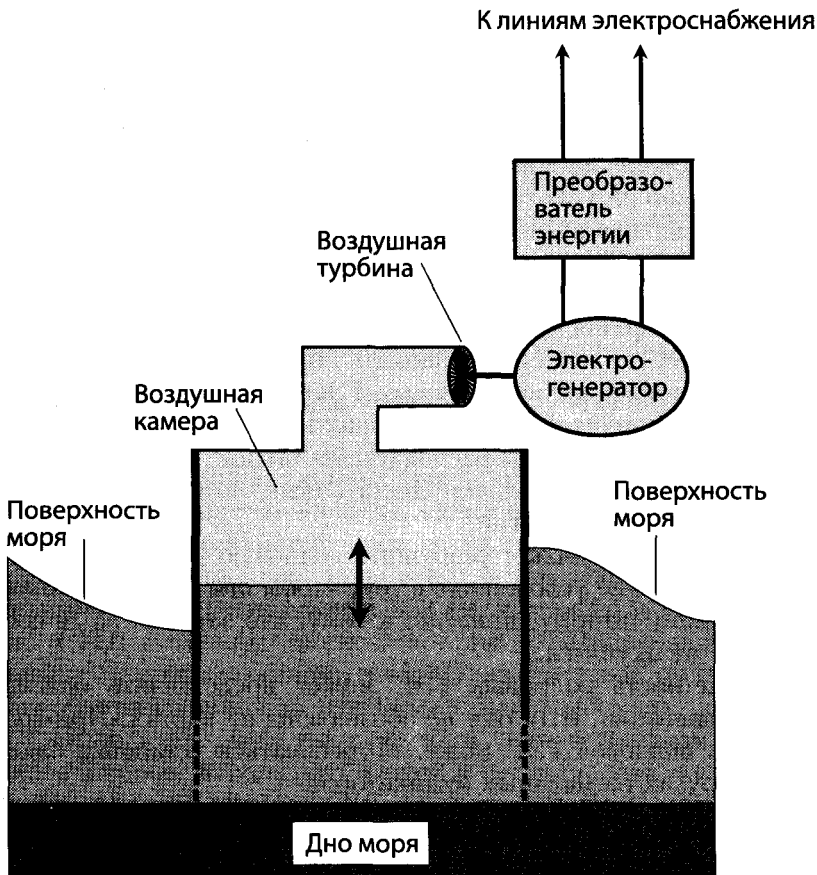


Рис. 11.4. Упрощенная функциональная схема работы волновой электростанции



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### ПРЕИМУЩЕСТВА ВОЛНОВЫХ ГЭС

- Волнение мирового океана — возобновляемый источник энергии.
- Преобразование энергии волн в электроэнергию не сопровождается выбросом угарного газа ( $\text{CO}$ ), углекислоты ( $\text{CO}_2$ ) и окислов азота и серы, пылевых загрязнителей и других вредных отходов, не загрязняет почву.
- Установка и эксплуатация волновой ГЭС относительно недороги, если разработка такой станции, предназначенной для того, чтобы противостоять штормам, не становится технически переусложненной.
- Большие волновые ГЭС могут производить огромное количество электричества.
- Волновые ГЭС незаметны. Даже при пристальном наблюдении они неплохо сливаются с пейзажем. С другой стороны, это может быть и недостатком (см. последний из недостатков в соответствующем перечне).
- Правильно разработанные волновые ГЭС не оказывают вредного воздействия на морскую флору и фауну.

### НЕДОСТАТКИ ВОЛНОВЫХ ГЭС

- Когда поверхность океана спокойна или почти спокойна, волновая ГЭС не может производить полезную энергию.
- Места строительства волновых ГЭС нужно тщательно подбирать, для того чтобы минимизировать воздействие шума от них. При этом они должны располагаться именно в тех районах, где ветровые волны обладают достаточным потенциалом для выработки электроэнергии.
- «Шторм века»<sup>2</sup> может разрушить волновую ГЭС, а чрезмерное техническое ее усложнение с тем, чтобы она могла противостоять такому шторму, приведет к тому, что затраты на ее сооружение не окупятся.
- Незаметность волновых ГЭС может представлять опасность для навигации, если они не обозначены на картах. При сооружении волновой ГЭС может потребоваться установка бакенов или других сигнальных индикаторов.

---

<sup>2</sup> Шторм века (hundred year storm) — совокупность штормовых показателей (постоянная скорость ветра, высота волны и т. д.), которая случается в данном районе раз в сто лет. — *Прим. пер.*



## Задача 11.4

Есть ли другие типы устройств волновых ГЭС, помимо представленного на рис. 11.4?

## Решение 11.4

Да. Одна из моделей предусматривает размещение на поверхности воды цепи плавучих платформ (паромов), связанных между собой шарнирными соединениями. Эта сборка волнообразно колеблется, и образующийся в результате в шарнирах крутящий момент может приводить в действие электрогенератор. Волновая ГЭС другого типа использует закрепленные на дне моря, недалеко от берега, в районе сильных *донных противотечений* водные турбины. Донное противотечение образуется, когда волна прибоя откатывается от берега по отлогому морскому дну. Другие модели могут использовать давление прибоя на волнолом или другое препятствие, расположенное у берега.

## Крупные ветроэлектростанции

Ветер — один из самых древних источников энергии, которыми овладел человек. *Ветряные мельницы* веками качали воду и мололи зерно (отсюда и слово «мельница»). Сегодня, с ростом проблем вокруг других традиционных источников энергии, энергия ветра вновь обращает на себя пристальное внимание человечества.

### СКОРОСТЬ И ЭНЕРГИЯ ВЕТРА, РАБОЧИЙ ДИАПАЗОН ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Скорость ветра определяется в *метрах в секунду* (м/с), *километрах в час* (км/ч), *статутных* (сухопутных или британских) *милях в час*, а также в *морских милях в час*, или *узлах*. Профессиналы (работники метеослужб, в частности) в качестве единиц измерения скорости ветра чаще всего используют узлы. Один узел эквивалентен приблизительно 1,852 км/ч, или 1,151 статутной мили в час. СМИ и службы прогноза погоды в США предпочитают оперировать статутными милями в час. Одна статутная миля в час соответствует приблизительно 1,609 км/ч, или 0,869 узла.

Производители *ветряных турбин* (или ветродвигателей), особенно в Европе, используют метры в секунду. Для того чтобы перевести значение скорости в метрах в секунду в статутные мили в час, необходимо умножить его на 2,237, а в узлы — на 1,943. Соответственно, для получения скорости ветра в метрах в секунду нужно разделить значение скорости ветра в милях в час на 2,237, а в узлах — на 1,943.





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

Большинство крупных ветряных турбин разработаны для диапазона ветров от 3–4 до 20–25 м/с. Эти значения соответствуют *минимально допустимой скорости* ветра в 7–9 миль в час (легкий, едва ощутимый бриз) и *максимально допустимой скорости ветра* в 45–56 миль в час (штормовой ветер в 7–10 баллов по шкале Бофорта, шквал, против которого трудно идти). В пределах этого диапазона крупная ветряная турбина способна производить от нескольких сотен киловатт (кВт) до нескольких мегаватт (МВт) полезной электроэнергии в зависимости от длины лопастей, скорости ветра и размера генератора.

*Показатель производительности* ветряной турбины — период эксплуатации ресурса (ветра) для получения полезного продукта (электроэнергии) — составляет от 25 до 40% в зависимости от географического положения и конструкции турбины. Наиболее подходящие для размещения ветряных электростанций места, как правило, находятся вдали от населенных центров, требуя строительства протяженных линий электропередачи.

### ВАРИАНТЫ КОНСТРУКЦИЙ ВЕТРЯНЫХ ТУРБИН

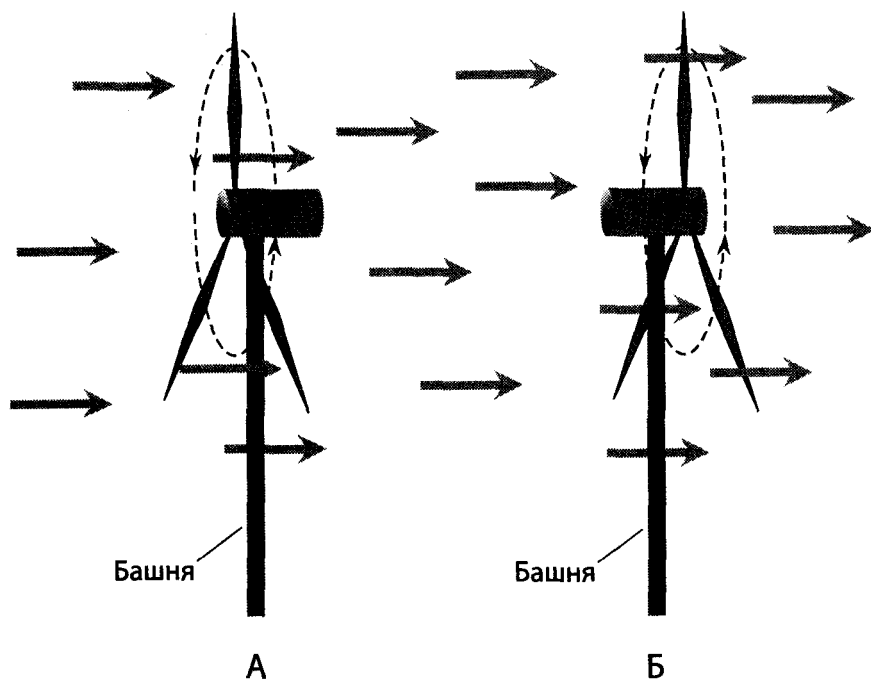
Крупные ветряные турбины размещаются на высоких и прочных башнях. Высота типичной башни ветряной турбины, закрепленной на мощном бетонном фундаменте, составляет от 50 до 80 м. Для большей устойчивости башни закрепляют растяжками.

Лопастей ветряных турбин обычно в длину достигают от 25 до 40 м. Большинство крупных ветряных турбин имеют три лопасти, но в некоторых конструкциях может быть две, четыре и более. *Диаметр вращения* равен удвоенной длине лопасти. Несущий подшипник лопастей, электрогенератор и охлаждающий аппарат генератора размещаются в контейнере, называемом *гондолой* или *корзиной*. Подобная конструкция предназначена для вращения с постоянной *угловой скоростью* около 20 оборотов в минуту в пределах всего рабочего диапазона (допустимых скоростей ветра) турбины. Изменения скорости ветра в пределах этого диапазона приводят к изменению количества вырабатываемой электроэнергии, но не меняют скорость вращения лопастей. Передаточный механизм (редуктор) переводит угловую скорость лопастей в собственную угловую скорость вала электрогенератора, производящего переменный ток частотой в 60 Гц (в США) или 50 Гц (в Европе и некоторых других частях света).

Для штатной работы ветряная турбина должна быть ориентирована таким образом, чтобы ее лопасти вращались вокруг оси, на-



правленной вдоль направления ветра. Иными словами, плоскость, образованная вращающимися лопастями турбины, должна быть перпендикулярна направлению ветра. Для этого все устройство (лопасти и гондола) закрепляется на *поворотной панели*, способной вращаться на  $360^\circ$  в горизонтальной плоскости. Направление и скорость ветра определяются при помощи *флюгарки* и *анемометра*, инструментов, сходных с теми, которые используются метеорологами для тех же целей. Если ветер становится слишком сильным, отказоустойчивая тормозная система останавливает и фиксирует лопасти, а поворотная панель разворачивает устройство под углом примерно  $90^\circ$  к направлению ветра с тем, чтобы турбина испытывала наименьшую нагрузку.



**Рис. 11.5.** На схеме А показана наветренная крупная воздушная турбина, на схеме Б — подветренная. Серыми стрелками обозначено направление ветра

У большинства крупных ветряных турбин лопасти расположены на наветренной (направленной против ветра) стороне гондолы, как показано на рис. 11.5, А. Эта конструкция так и называется — на-



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

*ветренная*. Некоторые модели, однако, имеют лопасти на стороне гондолы, направленной по ветру (рис. 11.5, Б), и называются *подветренными*. Какая из конструкций более эффективна (т. е. производит больше электричества в долгосрочной перспективе с учетом затрат), до сих пор является предметом спора. Сторонники наветренной конструкции подчеркивают, что эта технология испытанная, а с начала нового тысячелетия в нее внесено множество усовершенствований, повысивших эффективность и долговечность. Сторонники же подветренной конструкции утверждают, что ее лопасти могут «складываться» или «уклоняться» от ветра во время вращения, давая возможность турбине работать при более высокой скорости ветра, чем допустимо для наветренной турбины, что повышает показатель производительности.

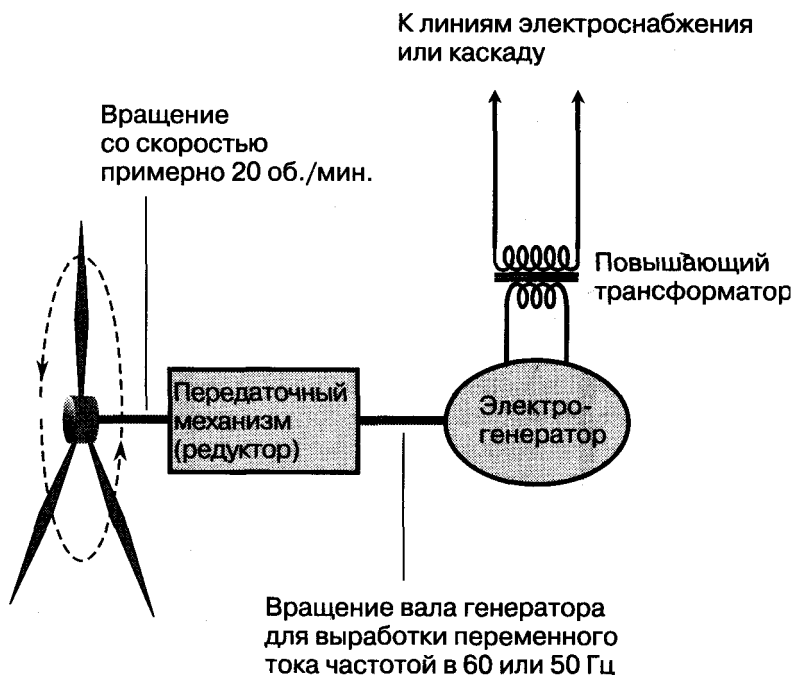


Рис. 11.6. Упрощенная функциональная схема ветроэлектростанции с большой турбиной и трансформатором

На рисунке 11.6 изображены базовые узлы крупной ветряной турбины, подсоединенной к распределительной электрической сети.



На некоторых крупных ветроэлектростанциях группы ветряных турбин (до шести штук) объединяют в каскады, которые подсоединяются к сети. В крупнейших ветропарках в каскады объединяют десятки турбин, и эта комбинация подключается по кабелю к электrorаспределительной подстанции или к высоковольтной ЛЭП.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

- Ветер — возобновляемый и практически неисчерпаемый источник энергии.
- Ветроэлектростанции не производят угарного газа (CO), углекислоты (CO<sub>2</sub>) и окислов азота и серы, пылевых загрязнителей и других вредных отходов.
- Построенную крупную ветряную турбину сравнительно легко и дешево обслуживать.
- Ветроэлектростанции способны снизить зависимость от природного топлива, гидроресурсов и атомных реакторов для производства электричества.
- Крупные ветряные турбины можно широко расположить на местности. Это позволяет разнести источники электроэнергии по регионам и помочь созданию нечувствительной к сбоям системы электроснабжения (защищенной от катастрофических сбоев и терактов).
- Ветроэнергетика может использоваться как дополнительный источник энергии наряду с иными способами производства электричества. Это диверсифицирует систему электроснабжения страны.
- Крупные ветряные турбины можно размещать на офшорных платформах — на крупных озерах, в океане, так же как и на земле.
- Даже самые крупные ветряные турбины занимают мало места, и в местах их расположения можно осуществлять другую деятельность — заниматься сельским хозяйством или скотоводством, например.

### НЕДОСТАТКИ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

- Ветер — неустойчивый источник энергии. Его показатель производительности ниже, чем у подавляющего большинства других источников энергии<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> В районах, где ветер дует редко и не обладает большими скоростями, строить ВЭУ вообще нецелесообразно. — *Прим. ред.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Гроза, ураган или снежный буран могут повредить или разрушить крупную ветряную турбину.
- Некоторым людям вид крупных ветряных турбин не нравится.
- Ветряные турбины производят шум. Однако даже на небольшом расстоянии от башни шум, производимый лопастями и турбиной, редко бывает слышнее, чем шум ветра.
- Крупные ветряные турбины иногда ранят и убивают птиц. Эту проблему можно частично решить за счет разумного выбора месторасположения ветроэнергостанции и за счет размещения самих турбин таким образом, чтобы они не находились близко друг от друга и чтобы их лопасти не вращались в одной плоскости.
- Энергия ветра не сможет сама по себе удовлетворить потребности в электричестве города, штата или государства целиком. Лучше всего использовать ее в качестве вспомогательного источника, в комбинации с природным топливом, гидроэнергоса-ми и атомными реакторами.
- Районы с постоянными ветрами, которые подходят для строительства ветроэлектростанций, как правило, находятся вдали от населенных центров, требуя строительства протяженных линий электропередачи.

### Задача 11.5

Почему энергия ветра не используется шире? Если построить ветряные турбины по всем подходящим районам США, то хотя бы в некоторых из них в любой момент времени будет дуть хороший ветер. Если объединить все турбины в единую сеть, то мы получим постоянный и надежный источник электричества, разве нет?

### Решение 11.5

Теоретически — да. В любой данный момент времени на территории США найдется несколько районов, где ветер дует с оптимальной для работы ветряных турбин скоростью. Проблема состоит в том, чтобы эффективно доставлять выработанную электроэнергию до конечных потребителей. Некоторые из них неизбежно будут оказываться слишком далеко от работающих электрогенераторов, чтобы передача им электроэнергии была эффективной. Пока еще не существует технологий, позволяющих сохранять выработанное за счет энергии ветра электричество в количествах, достаточных для регулярного электроснабжения городов и населенных пунктов.



## Малая ветроэнергетика

Термином «малые» обозначаются ветряные турбины, в идеальных условиях способные произвести до 20 кВт электроэнергии. Этого достаточно для обеспечения электричеством практически любого жилого дома. Как и крупные ветряные турбины, малые не способны производить энергию на постоянной основе. Для того чтобы обеспечить бесперебойное электроснабжение при помощи малой ветряной турбины, необходимо оборудовать ее накопительными батареями, или подключить ее к линии электроснабжения, или сделать и то и другое.

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Ориентация к ветру большинства малых ветряных турбин в отличие от мощных ветряков обеспечивается за счет прикрепленной к гондоле *флюгарки*. Она работает в целом по тому же принципу, что и старый добрый флюгер. Когда ветер достаточно силен для работы турбины, флюгарка поворачивается под ветер, а вся система напоминает миниатюрный одномоторный самолет без крыльев. В нормальных рабочих условиях плоскость, образуемая вращающимися лопастями турбины, перпендикулярна направлению ветра.

Скорость вращения лопастей малых ветряных турбин меняется в зависимости от силы ветра. В результате частота переменного тока, вырабатываемого размещенным в гондоле генератором, также меняется. Этот генератор схож с *альтернатором* (синхронным генератором переменного тока) автомобиля — некоторые производители его так и называют. Переменный ток альтернатора преобразуется в постоянный в цепи *выпрямителя* и используется для зарядки аккумуляторных батарей. Они снабжают электричеством бытовые приборы либо напрямую — в этом случае должна использоваться специальная домашняя аппаратура постоянного тока, — либо через *инвертирующий усилитель мощности*, преобразующий низковольтный постоянный ток из батарей в переменный ток напряжением в 117 вольт и частотой 60 Гц (в США) или 50 Гц (в Европе и других странах).

Когда скорость ветра превосходит определенный уровень, малая ветряная турбина поворачивается под некоторым углом к направлению ветра. Обычно плоскость вращения лопастей турбины перпендикулярна оси флюгарки, но при сильном ветре этот угол меняется.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

Это снижает нагрузку на лопасти, позволяя при этом турбине продолжать работу. Если ветер усиливается, угол между плоскостью вращения и осью флюгарки все уменьшается до тех пор, пока не становится равным нулю, когда плоскость вращения лопастей совпадает с направлением ветра. Изменение угла между плоскостью вращения лопастей турбины и направлением ветра называется *сворачиванием*. Оно осуществляется как в горизонтальной плоскости (когда лопасти поворачиваются вокруг вертикальной оси налево или направо), так и в вертикальной (когда лопасти запрокидываются вверх).

Изменение *шага лопасти* также позволяет малой ветряной турбине регулировать нагрузку ветра. Малый шаг лопасти (когда плоскость поверхности каждой лопасти лежит примерно в плоскости вращения колеса турбины) снижает нагрузку ветра на систему, и она производит меньше электроэнергии, чем при большом шаге (когда плоскость поверхности каждой лопасти установлена под углом к плоскости вращения колеса). Этот принцип повторяет тот, что заложен в основу работы винтовых самолетов, с точностью до наоборот. При низкой скорости ветра шаг лопасти максимален. С усилением скорости ветра шаг лопасти уменьшается. В конечном счете при очень сильном ветре шаг лопасти становится равен нулю, лопасти останавливаются и закрепляются в этом положении. Это максимально снижает нагрузку на лопасти, для того чтобы избежать механических повреждений. Турбина при этом останавливается.

### АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ

*Малая автономная ветряная турбина* оснащена набором аккумуляторных батарей для сохранения выпрямленного выходного напряжения генератора. Батареи снабжают энергией инвертирующий усилитель мощности, выдающий на выходе переменный ток напряжением 117 вольт. В некоторых случаях заряд батарей применяется напрямую, для специально разработанной бытовой техники, способной использовать низковольтный постоянный ток. На рисунке 11.7 представлена функциональная блок-схема автономной малой ветряной турбины, способной вырабатывать переменный ток напряжением 117 вольт.

Батареи дают возможность системе снабжать электричеством потребителя даже в том случае, если ветра нет или он слишком слабый для нормальной работы турбины. Автономная турбина позволяет не зависеть от коммунальных служб, однако если безветрие затянется, то заряд в батареях закончится, а с ним — и электроснабжение, если



не предусмотреть резервный источник тока. Обычно подобные системы предназначены для электрификации отдельных домов. Для крупных ветряных турбин и электростанций эта технология не подходит.

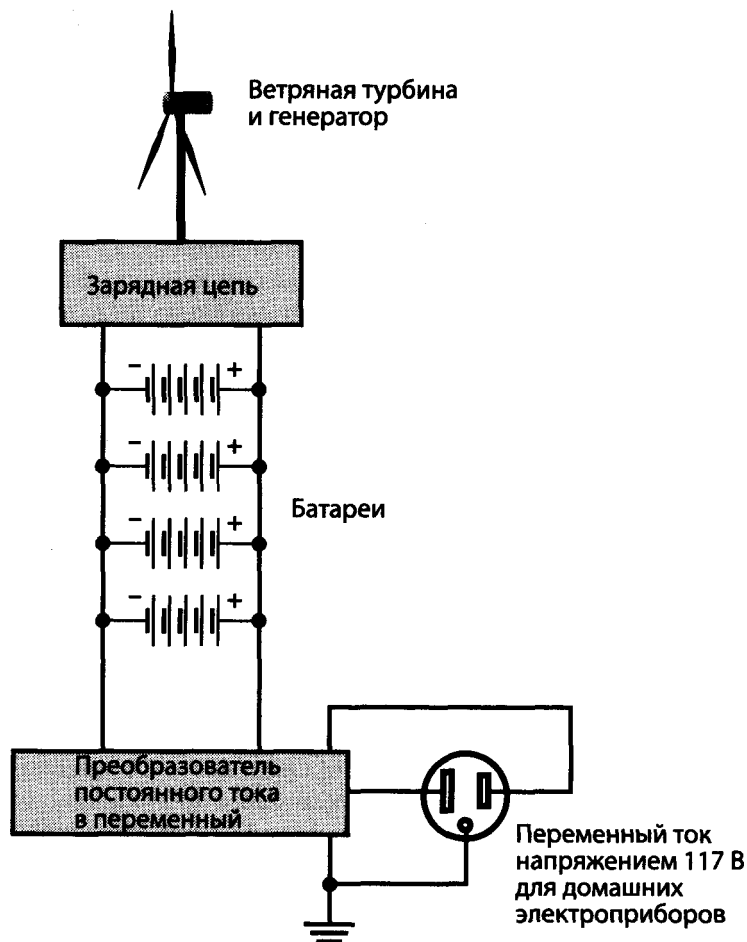


Рис. 11.7. Малая автономная ветряная турбина

## АККУМУЛИРУЮЩАЯ ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА

Малая аккумулирующая интерактивная ветряная система сходна с автономной системой, за исключением одного существенного дополнения.





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

В случае продолжительных неблагоприятных для работы турбины погодных условий аккумуляторы подпитываются напряжением за счет местной коммунальной электросети, что позволяет избежать отключения электропитания.

Аккумуляторы подсоединяются к сети через зарядное устройство, оснащенное переключателем и детектором заряда в аккумуляторах.

Если турбина не работает и заряд не поступает в аккумуляторы, переключатель подключает их к сети. Когда погодные условия позволяют турбине начать работу, переключатель отключает аккумуляторы от сети, вновь подсоединяя их к генератору турбины и выпрямителю тока.

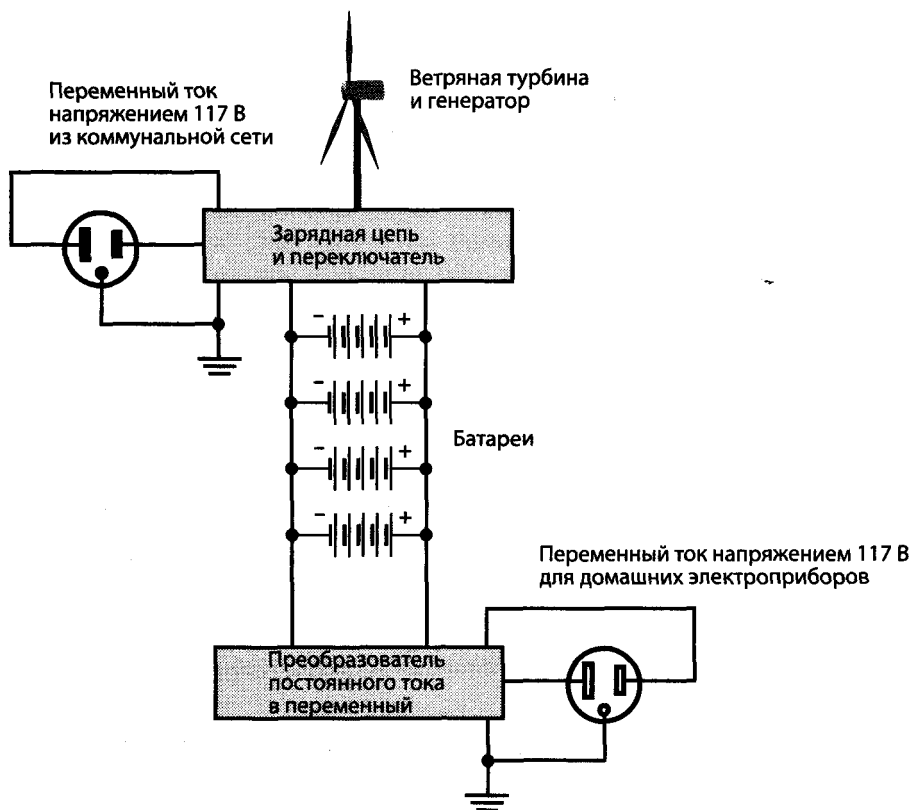


Рис. 11.8. Малая аккумулирующая интерактивная ветряная система



Большинство малых аккумулирующих интерактивных ветряных систем не предназначены для передачи излишков вырабатываемого тока в коммунальные сети. Электричество течет только в одном направлении — от сети электропередачи через зарядный контур и переключатель в аккумуляторы, причем это происходит только в том случае, когда они нуждаются в подзарядке, а турбина не производит достаточное количество электроэнергии для этого. На рисунке 11.8 представлена функциональная блок-схема подобной ветряной системы.

## МЕЖСЕТЕВАЯ ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА

*Малая межсетевая интерактивная ветряная система* также подсоединена к коммунальной электросети. Излишки электроэнергии в период минимального потребления продаются коммунальной службе, поставляющей электричество в сеть, а в периоды повышенного потребления выкупаются обратно у этой же компании.

Преимущество такой системы состоит в том, что потребитель может пользоваться электричеством (покупая его из коммунальной сети), даже если неблагоприятные погодные условия продолжаются долго.

Другое преимущество — отсутствие аккумуляторов, что позволяет сооружать более крупные (в плане пиковых значений получаемой электроэнергии) системы, чем в случае с автономными или аккумулирующими аналогами.

Межсетевые системы, так же как и их аккумулирующие аналоги, работают за счет подключения к коммунальным электрическим сетям и не предполагают полной независимости, желаемой пуристами<sup>4</sup>. Это не является их техническим или технологическим недостатком, но может представлять философскую проблему для того, кто стремится «отключиться от системы» целиком.

В некоторых штатах США предлагаются хорошие условия компенсационных сделок (выкупа электроэнергии) с коммунальными компаниями, в некоторых — нет. Стоит заранее поинтересоваться положениями местного законодательства, касающимися компенса-

<sup>4</sup> *Пурист* — сторонник чистоты и строгости нравов, консерватор, стремящийся сохранить что-либо в первозданной чистоте, оградить это от «чужеродных» примесей и новшеств. Здесь: противник урбанизации, стремящийся к абсолютно автономному или «экологически чистому» существованию, отдаленно от техногенной цивилизации. — *Прим. пер.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

онных сделок, прежде чем вкладывать деньги в сооружение межсетевых интерактивных систем любого типа. На рисунке 11.9 представлена функциональная блок-схема малой межсетевой интерактивной ветряной системы.

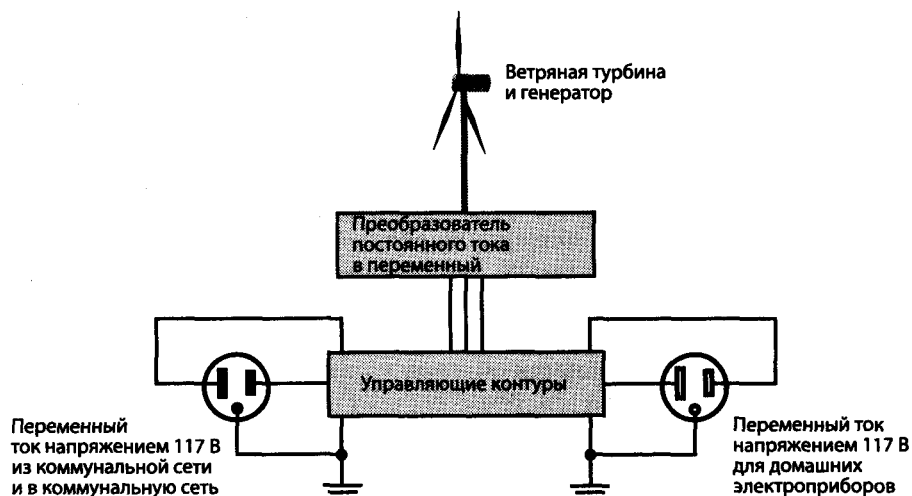


Рис. 11.9. Малая межсетевая интерактивная ветряная система

### ПРЕИМУЩЕСТВА МАЛОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

- Ветер — возобновляемый и практически неисчерпаемый источник энергии.
- Малые ветроэлектростанции не производят «парниковых» газов, угарного газа ( $\text{CO}$ ), углекислоты ( $\text{CO}_2$ ) и окислов азота и серы, пылевых загрязнителей и других вредных отходов.
- Малая ветряная турбина сравнительно проста и дешева в обслуживании.
- При использовании интерактивных систем малая ветроэлектростанция снижает зависимость от коммунальных электросетей.
- При использовании других дополнительных альтернативных источников энергии малая ветроэлектростанция может обеспечить полную независимость от коммунальных электросетей.
- Аккумулирующая интерактивная система даст электричество в случае кратковременного отключения коммунальной электросети.
- Малую ветроэлектростанцию можно использовать для дополнительного обогрева или охлаждения дома.



## НЕДОСТАТКИ МАЛОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

- Ветер — неустойчивый источник энергии. Даже лучшие образцы автономных ветроэлектростанций могут обеспечить регулярное производство лишь небольшого количества электроэнергии.
- Малые ветряные турбины не работают при слишком сильном ветре.
- Гроза, ураган или снежный буран могут повредить малую ветряную турбину.
- Если малые ветроэлектростанции и окупаются, то очень долго.
- Соседи могут воспротивиться сооружению ветряной турбины (это называется «синдромом отчужденности»<sup>5</sup>).
- Малые ветряные турбины производят заметный шум. Скорость их вращения выше, чем у крупных турбин, и они находятся ближе к земле.

### Задача 11.6

Как определить реальный объем электроэнергии, которую можно получить с помощью ветра?

### Решение 11.6

Объем доступной энергии  $P$  в ваттах, которую можно получить с помощью ветра, зависит от плотности воздуха, площади вращения лопастей турбины и скорости ветра. Если  $d$  — плотность ветра в килограммах на кубический метр (ее значение меняется в зависимости от высоты над уровнем моря, температуры и атмосферного давления),  $A$  — площадь (в квадратных метрах), ометаемая лопастями и перпендикулярная направлению ветра, а  $v$  — скорость ветра в метрах в секунду, то

$$P = dAv^3/2.$$

Теоретически это означает, что доступная энергия, вырабатываемая ветряной турбиной, находится в прямой зависимости от плотности воздуха и площади вращения лопастей турбины и в прямой зависимости от *куба* (третьей степени) скорости ветра. Если скорость ветра усиливается в два раза, то теоретически получаемая энергия

<sup>5</sup> Дословно «Not in my back yard» («Не в моем заднем дворе!») — синдром отказа (но не сопротивления) от экологически небезопасной деятельности на своей территории. — *Прим. пер.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

возрастает в восемь раз. Если скорость ветра возрастает в три раза, получаемая энергия — в 27! Заметим также, что получаемая энергия зависит от *квадрата* длины лопасти, если остальные факторы остаются неизменными. Это происходит потому, что ометаемая площадь пропорциональна квадрату радиуса лопасти.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отвечая на эти вопросы, вы можете пользоваться текстом книги. Восемь правильных ответов — хороший результат. Ответы помещены в конце книги.

1. Малая автономная ГЭС лучше всего работает:
  - (а) с инвертирующим усилителем мощности и аккумуляторами;
  - (б) с большой плотинной и резервуаром;
  - (в) с несколькими резервуарами;
  - (г) в местах, где прибрежные течения направлены перпендикулярно береговой линии.
2. Приливная турбина приводит в действие генератор за счет:
  - (а) работы волн;
  - (б) прибрежных течений;
  - (в) запруживания;
  - (г) любого из перечисленных факторов.
3. Что из перечисленного ниже *не* сказывается (в теории) на объеме получаемой электроэнергии (в киловаттах или мегаваттах) при штатной работе крупной ветряной турбины в любой момент времени?
  - (а) длина лопасти;
  - (б) скорость ветра;
  - (в) показатель производительности;
  - (г) размер генератора.
4. Известно, что пиковая эффективность некоей ветряной турбины достигается при скорости ветра в 15 м/с. Это значение соответствует примерно:
  - (а) 6,1 мили в час;
  - (б) 7,7 мили в час;
  - (в) 29 милям в час;
  - (г) 34 милям в час.



5. Что из перечисленного ниже является эксплуатационным источником электроэнергии океанического происхождения?
- (а) штормовые валы;
  - (б) донные противотечения прибоя;
  - (в) обратные береговые течения;
  - (г) все вышеперечисленное.
6. Строительство ГЭС с искусственным водохранилищем наиболее целесообразно в районе, где:
- (а) мелководная река протекает по почти ровной местности;
  - (б) река протекает по пересеченной местности;
  - (в) река впадает в море в виде крупной дельты;
  - (г) волнение в океане постоянно и значительно, а обратные береговые течения сильны.
7. Предположим, электрическая мощность на выходе малого ветряного генератора постоянна и равна 600 Вт при скорости ветра 10 м/с. Какое количество электроэнергии этот генератор произведет за одну минуту при той же скорости ветра?
- (а) 10 Дж;
  - (б) 60 Дж;
  - (в) 600 Дж;
  - (г) 36 000 Дж.
8. Какое из приведенных ниже утверждений является ложным?
- (а) заряд аккумуляторов аккумулирующих интерактивных ветряных систем продается коммунальным компаниям, если ветряная турбина производит недостаточно электричества для подзарядки аккумуляторов;
  - (б) крупная ветряная турбина вращается с постоянной скоростью в пределах всего рабочего диапазона скорости ветра;
  - (в) сворачивание предохраняет малые ветряные турбины от повреждений при сильном ветре;
  - (г) все вышеприведенные утверждения верны.
9. Воздушная турбина, вероятнее всего, является узлом:
- (а) приливной плотины;
  - (б) деривационной ГЭС;
  - (в) ГЭС с искусственным водохранилищем;
  - (г) волнового электрогенератора.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

10. Крупная дамба искусственного водохранилища может вызвать:
- (а) растворение излишков кислорода в воде за дамбой;
  - (б) нехватку воды выше по течению, которой не произошло бы, не будь дамбы;
  - (в) проблемы для речной флоры и фауны в реке и водохранилище рядом с дамбой;
  - (г) все вышеперечисленное.

# Глава 12

## Атомная и солнечная энергия

Лучистая энергия может происходить как из Земли, так и из открытого космоса. Наиболее распространенный земной источник лучистой энергии, пригодный для получения электричества, — это *деление урана*, а наиболее распространенный внеземной источник — видимый свет Солнца. Для получения электроэнергии можно также использовать инфракрасный и ультрафиолетовый свет, но в меньшей степени. Многообещающие технологии, основанные на *термоядерном синтезе водорода*, все еще находятся на стадии разработки.

### Атом

Материя состоит из бесчисленных мельчайших плотных частиц. Вообще-то по большей части материя — пустое место, а «сплошной», «оформленной» она выглядит потому, что эти частицы настолько малы, что их не видно даже в микроскоп. При этом они чрезвычайно быстро движутся. Каждый химический *элемент* характеризуется своим, уникальным типом частицы, называющейся *атомом*. Малейшие изменения во внутренней структуре атома могут вызвать огромные изменения в его «наружном» поведении.

### ПРОТОН, НЕЙТРОН И АТОМНЫЙ НОМЕР

Часть атома, которая определяет уникальность (и, таким образом, природу) химического элемента, называется *ядром*. Ядро состоит из двух частиц — *протона* и *нейтрона*. Если бы ими удалось наполнить чайную ложку (плотно, чтобы ничего, кроме них, в ней не было), то ее масса составила бы тысячи килограммов. Масса протона и нейтрона практически одинакова, но протон имеет положительный электрический заряд, а нейтрон никакого электрического заряда не несет.





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

Количество протонов в ядре химического элемента, или его *атомный номер*, и определяет его уникальность. Элемент с одним протоном в ядре — это *водород*, с двумя — *гелий*. Три протона дают нам литий, легкий металл, легко взаимодействующий со многими другими элементами. Элемент с четырьмя протонами — также металл, *бериллий*. В целом с ростом количества протонов в ядре химического элемента увеличивается и количество нейтронов (хотя есть и исключения). В силу этого элементы с высоким атомным номером (*уран*, например, — атомный номер 92) более плотны и тяжелы, чем элементы с низким атомным номером (например, *углерод* — атомный номер 6).

### ИЗОТОПЫ

Число протонов в ядре каждого элемента постоянно, а вот количество нейтронов может меняться. Это различия объясняют существование *изотопов* — разновидностей одного химического элемента. Каждый химический элемент имеет как минимум два изотопа, а некоторые — десятки, но из всех существующих разновидностей изотопов в природе наиболее распространена какая-то одна конкретная.

Изменение в количестве нейтронов в ядре атома изменяет его массу. Некоторые изотопы при этом существуют в неизменном виде длительное время, они называются *стабильными*. Другие не столь постоянны. Их ядро имеет тенденцию к *распаду*. Если атомное ядро распадается самопроизвольно, такой изотоп называется *нестабильным*. Процесс распада всегда сопровождается выделением энергии и/или субатомных частиц<sup>1</sup>. Это выделение называется *радиоактивностью*. Все известные изотопы урана нестабильны; некоторые распадаются быстрее других.

### АТОМНЫЙ ВЕС

*Атомный вес* химического элемента примерно равен сумме протонов и нейтронов в его ядре. Наиболее распространенный в природе естественный изотоп углерода имеет атомный вес 12 и называется углерод-12, или C-12. Атомное ядро изотопа C-12 содержит шесть протонов и шесть нейтронов. Некоторые атомы углерода имеют во-

---

<sup>1</sup> Строго говоря, субатомными (или элементарными) считаются частицы, расщепить которые невозможно. Далеко не все элементарные частицы имеют отношение к радиоактивности. — *Прим. пер.*



семь нейтронов в ядре, а не шесть. Такой вид изотопа углерода имеет атомный вес 14 и называется углерод-14, или C-14. Уран может существовать в форме изотопов U-234 (атомный вес 234), U-235 (атомный вес 235) или самого распространенного в природе изотопа урана U-238 (атомный вес 238). Уран-235 является естественным выбором в качестве топлива для атомных электростанций, так как его свойства позволяют вызывать его контролируемый распад, обеспечивая постоянный ресурс полезной энергии.

### ИОНЫ

Если количество электронов<sup>2</sup> в атоме больше или меньше, чем количество протонов, атом приобретает электрический заряд. Недостаток электронов приводит к положительному заряду атома, избыток — к отрицательному. Сам химический элемент при этом не изменяется — вне зависимости от того, насколько велик недостаток или избыток электронов. Заряженный атом называется *ионом*. Когда вещество содержит достаточно много ионов, оно называется *ионизированным*. Ионизированные вещества обычно хорошо проводят электричество, даже если в нормальном состоянии материал этого вещества не является хорошим проводником электрического тока.

Химический элемент может быть одновременно ионом и изотопом, отличным от наиболее распространенного в природе изотопа. Например, атом углерода может иметь восемь нейтронов вместо обычных шести, являясь изотопом C-14, при этом он может «потерять» один электрон, становясь положительно заряженным ионом.

### ДЕЛЕНИЕ УРАНА КАК ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Термин *деление* означает расщепление или распад материи. В процессе *ядерного распада* происходит расщепление атомного ядра на более мелкие ядра и другие элементы. Этот процесс может происходить со многими химическими элементами. На ядерных электростанциях ядра урана-235 расщепляются намеренно, под строгим контролем. Такой процесс называется *вынужденным делением*.

<sup>2</sup> *Электрон* — стабильная элементарная частица, одна из основных структурных единиц вещества. Из электронов состоят *электронные оболочки* атомов всех веществ. — *Прим. пер.*



### ПРОЦЕСС ДЕЛЕНИЯ УРАНА

Ключ к делению урана-235 — бомбардировка его нейтронами на высокой скорости. Когда нейтрон врывается в атомное ядро урана-235, оно практически мгновенно расщепляется на два более легких ядра. При этом вместе с *гамма-лучами* выделяются два-три нейтрона. Гамма-излучение похоже на рентгеновское излучение, но обладает большими проникающими свойствами и большей энергией. Кроме этого, в процессе расщепления ядра выделяется тепловая энергия, нагревающая уран. Если один из выделившихся нейтронов врывается в следующее ядро урана-235, оно также расщепляется, и весь процесс повторяется. Если урана-235 достаточно много, в результате расщепления ядер и последующей внутренней нейтронной бомбардировки может возникнуть *цепная реакция*. Далее, если цепная реакция продолжается достаточно долго, весь запас урана-235 расщепляется на ядра более легких элементов — *отработавшее ядерное топливо*.

При бомбардировке нейтронами уран-235 может находиться в одном из трех следующих состояний.

- **Докритическое состояние.** Реакция заканчивается прежде, чем израсходовано большинство топлива. Это происходит, если в среднем менее одного испущенного нейтрона врывается в следующее ядро урана-235 и расщепляет его.
- **Критическое состояние.** Реакция поддерживает себя сама на том же уровне, пока не закончится топливо. Это происходит, если в среднем один испущенный нейтрон врывается в следующее ядро урана-235 и расщепляет его.
- **Надкритическое состояние.** Интенсивность реакции усиливается, и уран разогревается до такой степени, что начинает плавиться. Это происходит, если в среднем более одного испущенного нейтрона врывается в следующее ядро урана-235 и расщепляет его.

### КАК РАБОТАЕТ ЯДЕРНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Для нормальной работы ядерный реактор следует поддерживать в критическом состоянии. Прежде всего необходимо, чтобы начальный запас ядерного топлива имел точно определенную массу и форму. Температуру урана-235 также требуется контролировать. Объем испускания нейтронов в общем объеме ядерного топлива можно держать под некоторым контролем, что обеспечивает стабильную работу



всей системы. Если контроль осуществляется правильно, ядерный реактор способен обеспечивать большое количество полезной тепловой энергии длительное время.

Уран-235, специально обогащенный (очищенный) для использования в ядерном реакторе, не взрывается. Если вы видели в кино, как ядерные реакторы взрываются, словно атомные бомбы, спишите это на фантазию сценаристов. Но выход реакции из-под контроля — повод для сильнейшего беспокойства. Если позволить реактору перейти в надкритическое состояние, уран расплавится из-за избытка тепла. Это и называется *взрывом ядерного реактора*, хотя собственно взрыва при этом не происходит. Предназначенный для ядерных реакторов уран-235 не настолько обогащен, чтобы в нем проходила мгновенная бурная реакция, характерная для ядерных бомб, но авария на ядерном реакторе, сопровождающаяся расплавлением урана, загрязняет почву, воду и воздух радиоактивными изотопами.

Ядерный реактор, работающий на уране, помещается в многослойную структуру как для защиты от выброса радиации, так и для защиты самого реактора от физических повреждений, которые могут быть вызваны внешним воздействием. *Противорадиационный защитный экран* и *защитная оболочка реактора* предотвращают выброс радиации или радиоактивных материалов в окружающую среду. Все это сооружение помещается в массивном укрепленном здании, которое называется *вторичной защитной оболочкой*. Это здание имеет характерную форму купола или полусферы, что обеспечивает ему максимальную структурную прочность. Оно проектируется с расчетом на противостояние серьезнейшим катаклизмам — торнадо, ураганам, землетрясениям, а также способно выдерживать прямое попадание ракеты, бомбы или самолета.

На рисунке 12.1 представлена упрощенная функциональная схема электростанции с ядерным реактором. Вырабатываемое реактором тепло передается водяному котлу посредством жидкого теплоносителя (хладагента). Хладагент возвращается от стенок котла к реактору при помощи насоса системы охлаждения. Вода в котле превращается в пар, приводящий в действие турбину. Турбина вращает вал электрогенератора, который подсоединен к линиям электропередачи через повышающий трансформатор. Пройдя турбину, пар конденсируется и подается обратно в котел питательным насосом. Вода и хладагент полностью изолированы друг от друга в закрытых системах циркуляции; они не вступают в физический контакт. Это



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

предотвращает случайный выброс радиации в окружающую среду через системы циркуляции воды/пара.

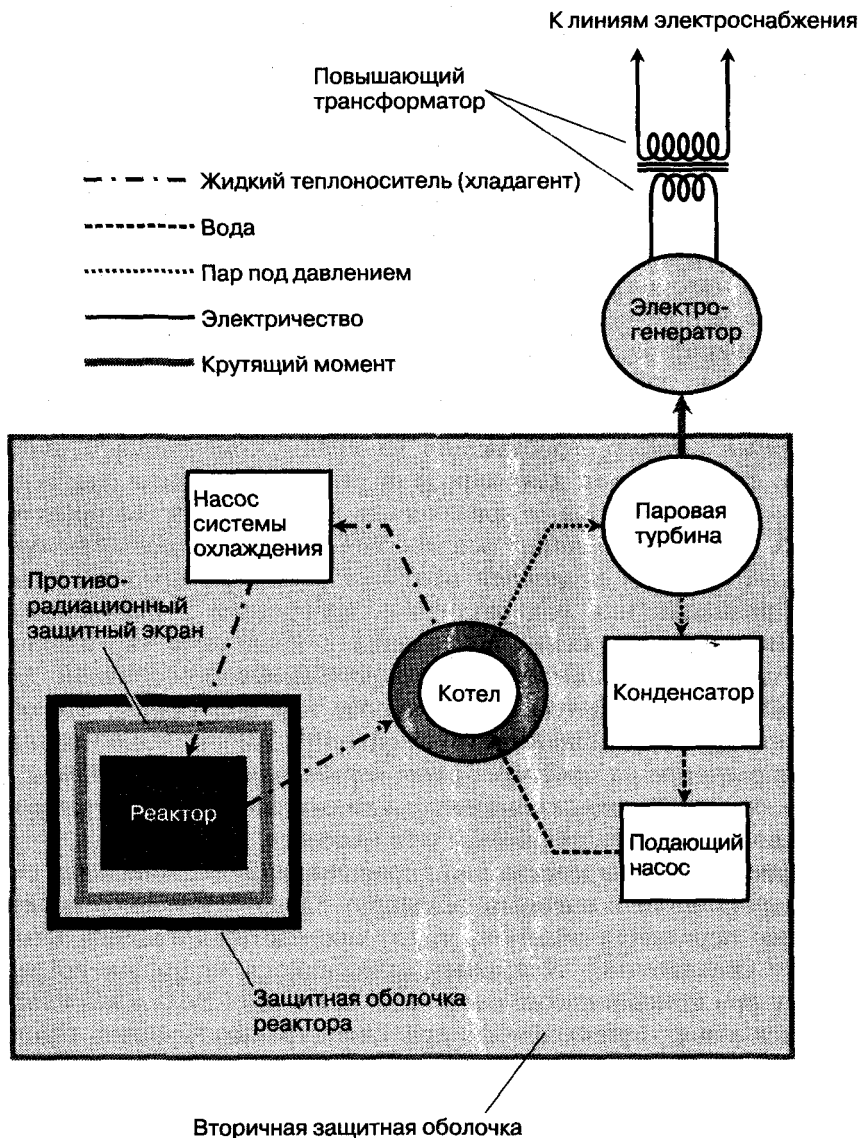


Рис. 12.1. Упрощенная функциональная схема электростанции с ядерным реактором (с одним реактором и одной турбиной)



### ПРЕИМУЩЕСТВА ЯДЕРНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

- Уран — относительно недорогое топливо. Месторождения урана распространены достаточно широко в мире.
- Техническое обслуживание ядерных электростанций — процесс очень важный, но его не нужно проводить так же часто, как дозаправку и техобслуживание традиционных электростанций.
- Ядерные реакторы и связанные с ними периферийные устройства могут работать в отсутствие кислорода. Это значит, что они могут быть целиком изолированы и при необходимости помещены под землю или под воду без вентиляционных систем.
- Ядерные электростанции, в отличие от электростанций на природном топливе, не производят так называемых парниковых газов, угарного газа (CO) или пылевых загрязнителей.
- Ядерные электростанции, построенные и эксплуатируемые с соблюдением всех мер предосторожности, могут помочь мировой экономике избавиться от чрезмерной зависимости от ископаемого топлива для производства электричества.

### НЕДОСТАТКИ ЯДЕРНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

- Добыча и обогащение урана могут подвергнуть занятый на этих работах персонал воздействию радиоактивной пыли, а также привести к выбросу этой пыли в воздух или в воду.
- Отходы ядерных реакторов остаются радиоактивными долгие годы. Существующие и перспективные методы их утилизации сопряжены с техническими, экологическими и политическими проблемами.
- Несмотря на то что риск диверсии на ядерных электростанциях невелик, потенциальные ее последствия — выброс радиоактивных материалов в окружающую среду — очень серьезны. Пренебрегать такими рисками нельзя.
- Перевозка расщепляющихся материалов на электростанции для использования в качестве топлива и перевозка радиоактивных отходов к местам их утилизации (захоронения) никогда не могут быть абсолютно безопасным делом. Последствия нарушения системы безопасности могут быть катастрофическими.
- Попадание расщепляющихся ядерных материалов не в те руки может спровоцировать ядерный терроризм или шантаж.
- Из-за перечисленных выше факторов риска широкому применению ядерных электростанций сопротивляются различные



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

общественные организации. Это способствует росту настороженного отношения в обществе к ядерной энергетике в целом, особенно в США.

### Задача 12.1

Чем отличается уран для ядерного реактора от урана для ядерного оружия?

### Решение 12.1

Для использования в ядерном реакторе уран должен быть очищен — иными словами, *обогащен* — до уровня содержания как минимум 3% урана-235. В ядерной бомбе используется оружейный уран, обогащенный до уровня содержания как минимум 90% урана-235.

## Синтез водорода как источник электроэнергии

Настороженность в американском обществе по отношению к ядерной энергетике, основанной на делении ядра, привела к росту интереса к водородному синтезу (термоядерной реакции). Эта технология была предложена как альтернативный способ использовать свойства атома для производства электроэнергии. Это прекрасная идея — в теории. Водородный синтез более эффективно превращает материю в энергию, чем расщепление ядра, причём этот процесс не сопровождается образованием радиоактивных отходов. Однако работоспособный термоядерный реактор еще только предстоит создать.

### ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ В СОЛНЦЕ

Физики считают, что Солнце преобразует водород в гелий за счет термоядерной реакции синтеза. Термин «синтез» означает «объединение». Водородный синтез требует высочайших температур. Мощная гравитация, создаваемая огромной массой Солнца, постоянно поддерживает его ядро в сжатом состоянии. Это сжатие обеспечивает в ядре температуру, достаточно высокую для возникновения термоядерного синтеза водорода.

Солнечный водородный синтез — многоступенчатый процесс. Сначала два ядра водорода (два протона) сильно сжимаются, испуская *позитрон*, также известный как *антиэлектрон*. Позитрон имеет ту же массу, что электрон, но несет положительный, а не отрицательный единичный заряд.



Кроме позитрона, при сжатии атомов водорода выделяется *нейтрино* — частица, напоминающая электрон, но не имеющая электрического заряда и способная в огромных пределах проникать сквозь материю<sup>3</sup>.

Синтез двух протонов сопровождается потерей единичного положительного заряда. В результате один из протонов становится нейтроном. Так получается ядро *дейтерия* (обозначается  $2\text{H}$  или  $\text{D}$ ) — тяжелого изотопа водорода, состоящего из одного протона и одного нейтрона.

Дейтерий также известен как *тяжелый водород*. Ядро дейтерия объединяется с еще одним протоном и формирует ядро *гелия-3* ( $\text{He-3}$ ), состоящее из двух протонов и одного нейтрона. При этом испускается пучок гамма-излучения. Далее два ядра гелия-3, образовавшиеся в результате двух независимых повторов описанного выше процесса, объединяются, формируя ядро *гелия-4* ( $\text{He-4}$ ), состоящее из двух протонов и двух нейтронов. Этот изотоп гелия используется для наполнения аэростатов легче воздуха. На финальной стадии испускаются два протона, которые могут провоцировать дальнейшее развитие реакции синтеза.

В процессе «солнечного синтеза» (рис. 12.2) общая масса создающейся материи немногим превышает общую массу изначальных ингредиентов. «Недостающая часть» преобразуется в энергию, согласно знаменитой формуле Эйнштейна:

$$E = mc^2,$$

где  $E$  — энергия в джоулях,  $m$  — «недостающая масса» в килограммах, а  $c$  — скорость света, равная (в вакууме) 299 792 458 м/с. Солнце производит таким образом колоссальное количество энергии, так как ядра водорода преобразуются в ядра гелия безостановочно и в огромных количествах. В Солнце достаточно материи для того, чтобы процесс водородного синтеза продолжался миллионы тысячелетий. Со временем запас водорода подойдет к концу, но это случится не при нашей жизни.

<sup>3</sup> Иными словами, нейтрино (нейтрино малой энергии) чрезвычайно слабо взаимодействуют с веществом. Длина свободного пробега некоторых видов нейтрино в воде составляет около ста световых лет. Также известно, что без видимых последствий каждую секунду через тело каждого человека на Земле проходит примерно  $10^{14}$  нейтрино, испущенных Солнцем. — Прим. пер.





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

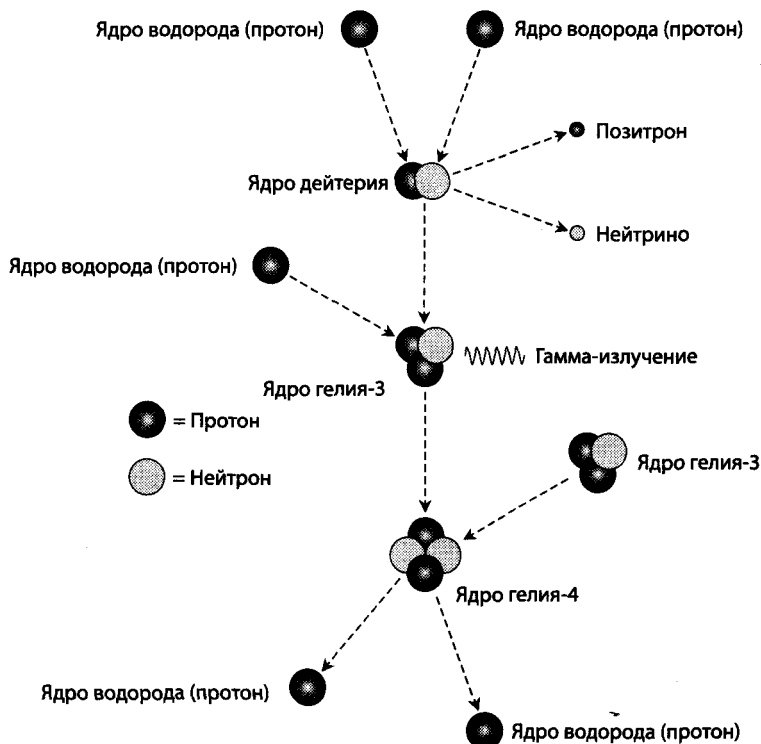


Рис. 12.2. Процесс термоядерного синтеза водорода, протекающий в солнечном ядре

### СИНТЕЗ В БОМБАХ

В *термоядерной бомбе* происходит реакция водородного синтеза иного типа. Впрочем, если такую реакцию когда-либо взять под контроль, ее также можно будет использовать в термоядерном реакторе. Особенность термоядерного синтеза этого типа состоит в том, что в нем участвуют ядра тяжелого и *сверхтяжелого водорода*, а не состоящие из одного протона ядра обычного водорода. Ядра дейтерия ( $2\text{H}$  или  $\text{D}$ ), состоящие из одного протона и одного нейтрона, объединяются с ядрами *трития* ( $3\text{H}$  или  $\text{T}$ ), состоящими из одного протона и двух нейтронов. В результате этого синтеза образуется ядро гелия-4 ( $\text{He-4}$ ) и выделяется «лишний» нейтрон (рис. 12.3). При этом выделяется энергия, так же как и в процессе термоядерной реакции в Солнце. Для осуществления реакции этого типа, называемой *дейтериево-тритиевым синтезом* (или *D–T-синтезом*), необходим



запас дейтерия и трития. Обычный водород для нее не подходит. Теоретически для термоядерной реакции могут подойти и другие комбинации топлива, но D–T-синтез считается самым распространенным.

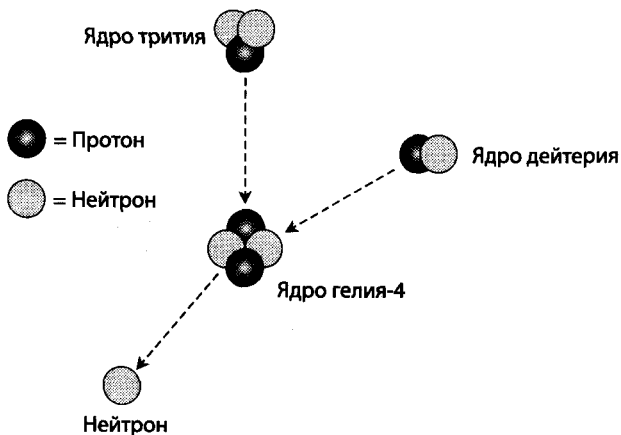


Рис. 12.3. Реакция водородного синтеза в термоядерной бомбе

В Солнце процесс синтеза идет постоянно благодаря высочайшей температуре, которая поддерживается вследствие воздействия высокой гравитации, а также за счет тепла, выделяющегося в процессе самой термоядерной реакции. Температуру же, необходимую для того, чтобы начать реакцию синтеза в термоядерной бомбе, обеспечивает подрыв относительно небольшого по мощности атомного (уранового или плутониевого. — *Прим. пер.*) заряда. При этом реакция синтеза протекает практически мгновенно и быстро заканчивается. Обеспечить достаточную гравитацию для начала и постоянного поддержания управляемого синтеза такого типа для доступных на Земле запасов водорода, дейтерия или трития невозможно. Топливо для «взрывного» термоядерного синтеза (осуществляемого с целью получения полезной энергии) необходимо каким-либо образом содержать в сжатом состоянии.

### ПЛАЗМА

Если газ нагреть до сверхвысоких температур, электроны покидают оболочку атомного ядра, и атомы становятся ионами. Электрон уходит со своей обычной «орбиты» вокруг положительно заряженного атомного ядра и начинает «свободное» перемещение в пространстве от одного атома к другому. Ионизированный газ, который в сво-



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

ем обычном состоянии является плохим проводником электрического тока, становится хорошим проводником. Это состояние материи называется *плазмой*. Она отличается по свойствам от «обычного» газа, поэтому считается *четвертым агрегатным состоянием вещества* (три других — твердое, жидкое и газообразное). В наиболее популярных среди ученых прототипах термоядерных реакторов топливом являются дейтерий и тритий в состоянии плазмы, нагретой до температур, сопоставимых с температурами внутри звезд.

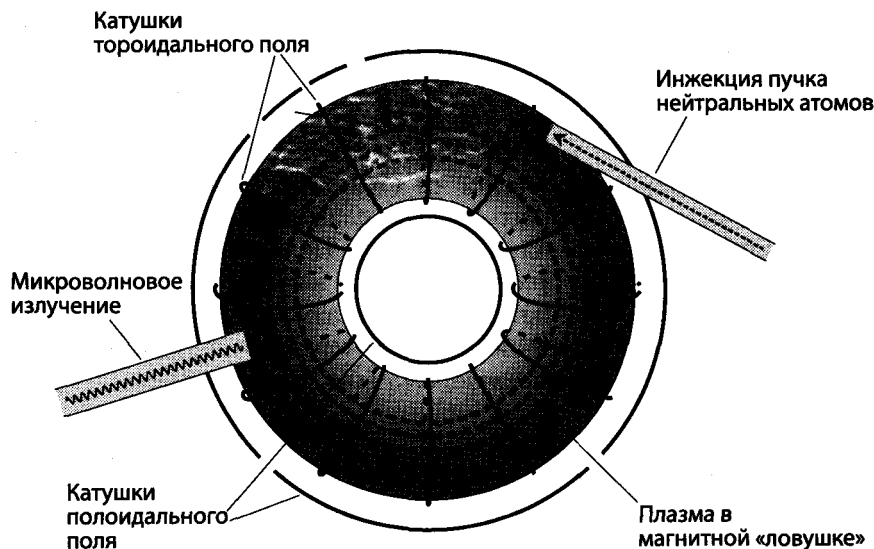
Плазма хорошо взаимодействует с внешними магнитными или электрическими полями. Они могут существенно изменять ее характеристики, заставляя плазму сжиматься, искривляться, «сворачиваться» или растягиваться. Окруженная электрическим или магнитным полем с определенными характеристиками, плазма может сохраняться в небольшом замкнутом пространстве, даже если она нагреется до температуры, способной поддерживать реакцию термоядерного синтеза. Внешние магнитные или электрические поля оказывают на плазму практически то же сжимающее воздействие, какое гравитация внутри Солнца оказывает на газ в его ядре. Использование внешних магнитных полей для сжатия и удержания высокотемпературной D—T-плазмы во время термоядерного синтеза получило название *магнитное удержание*.

### ТОКАМАК

Наиболее перспективным способом магнитного удержания плазмы является использование вакуумной тороидальной (в форме бублика) камеры, которая называется «токамак». Этот термин — акроним (сокращение) от русского описательного названия устройства — «тороидальная камера с магнитными катушками»<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Теоретические основы термоядерного реактора, где плазма имела бы форму тора и удерживалась магнитным полем, были разработаны в 1951 году Игорем Евгеньевичем Таммом и Андреем Дмитриевичем Сахаровым. Красивый термин «токамак» был придуман позже Игорем Николаевичем Головиным, учеником академика Курчатова. Первоначально он звучал как «токамаг» — сокращение от слов «**т**ороидальная **к**амера **м**агнитная», но Н. А. Явлинский, автор первой тороидальной системы, предложил заменить «-маг» на «-мак» для благозвучия (другая версия происхождения этого акронима — термин «тороидальная камера с **а**ксиальным магнитным полем»). В дальнейшем этот термин вошел во все языки. Первый токамак был построен в 1955 году, и долгое время токамаки существовали только



**Рис. 12.4.** Функциональная схема токамака (или стелларатора) с катушками для удержания плазмы и двумя способами разогрева плазмы

Плазма (смесь дейтерия и трития) находится внутри камеры. Катушки *тороидального поля* и *полоидального поля* устанавливаются вокруг камеры (рис. 12.4). Через катушки пропущен электрический ток, создающий сильные магнитные поля. Сквозь плазму также пропущен электрический ток силой до 5 млн (5 000 000) ампер, подающийся огромным трансформатором. Электрический ток проходит

в СССР. В данном случае авторское толкование этого сокращения тоже допустимо, но с оговорками. Дело в том, что в дальнейшем описании токамака автор позволяет себе неточности — он упоминает магнитные катушки тороидального и полоидального поля, образующие магнитное поле, удерживающее плазму в камере. Но такая конструкция характерна для *стелларатора* — модели термоядерного реактора иного, чем токамак, типа (разработан Л. Спитцером в 1951 году). Особенность токамака состоит как раз в том, что полоидальное поле создается электрическим током, протекающим через плазму, в отличие от стелларатора, где поле создается целиком за счет внешних катушек. В связи с этим авторское описание токамака в этом разделе относится скорее к стелларатору, как и приведенная в этом разделе на рис. 12.4 схема. Впрочем, базовый принцип работы обоих этих устройств одинаков. — *Прим. пер.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

сквозь плазму по всему тороиду по бесконечному кругу. Этот ток создает свое магнитное поле, которое вступает во взаимодействие с магнитным полем катушек, удерживая плазму и распределяя ее равномерно по всему объему тороидальной камеры. При этом магнитные поля отжимают плазму к центру поперечного сечения камеры, не позволяя войти в соприкосновение со стенками. Дело в том, что для осуществления термоядерного синтеза плазма должна быть нагрета до температур свыше 100 млн градусов по Цельсию (100 000 000 °C). Если перегретая плазма коснется стенки камеры токамака, стенка разрушится, воздух проникнет внутрь, плазма «остынет», и реакция синтеза прекратится. Гелий, получаемый в результате реакции синтеза, удаляется из камеры *диверторами* (отклонителями).

### НАГРЕВ ПЛАЗМЫ

Для нагрева плазмы до температуры, необходимой для поддержания реакции термоядерного синтеза, можно использовать различные методы.

- **Омический нагрев.** Электрический ток, проходящий через плазму (как и через любой другой проводник), встречает определенное сопротивление. Это значит, что определенная доля энергии поглощается плазмой и уходит на ее нагрев — таким же образом нагревается, например, провод, через который пропущен ток высокого напряжения.
- **Саморазогрев.** Реакция термоядерного синтеза сама производит тепло. Часть этого тепла поглощается плазмой.
- **Инжекция пучка нейтральных атомов.** Пучками быстрых (обладающих высокой энергией) нейтральных атомов дейтерия и трития «обстреливают» плазму. Врезаясь в атомы плазмы, они разогревают ее. Нейтральный заряд атомов дает им возможность преодолевать сильные магнитные поля внутри токамака.
- **Микроволновое излучение.** Электромагнитные волны направляются на плазму в нескольких точках камеры. Частоты этого излучения совпадают с циклотронной частотой<sup>5</sup> ионов или электронов плазмы, и энергия излучения поглощается плазмой. На рисунке 12.4 схематически обозначены точка инжекции пучка нейтральных атомов и точка микроволнового излучения.

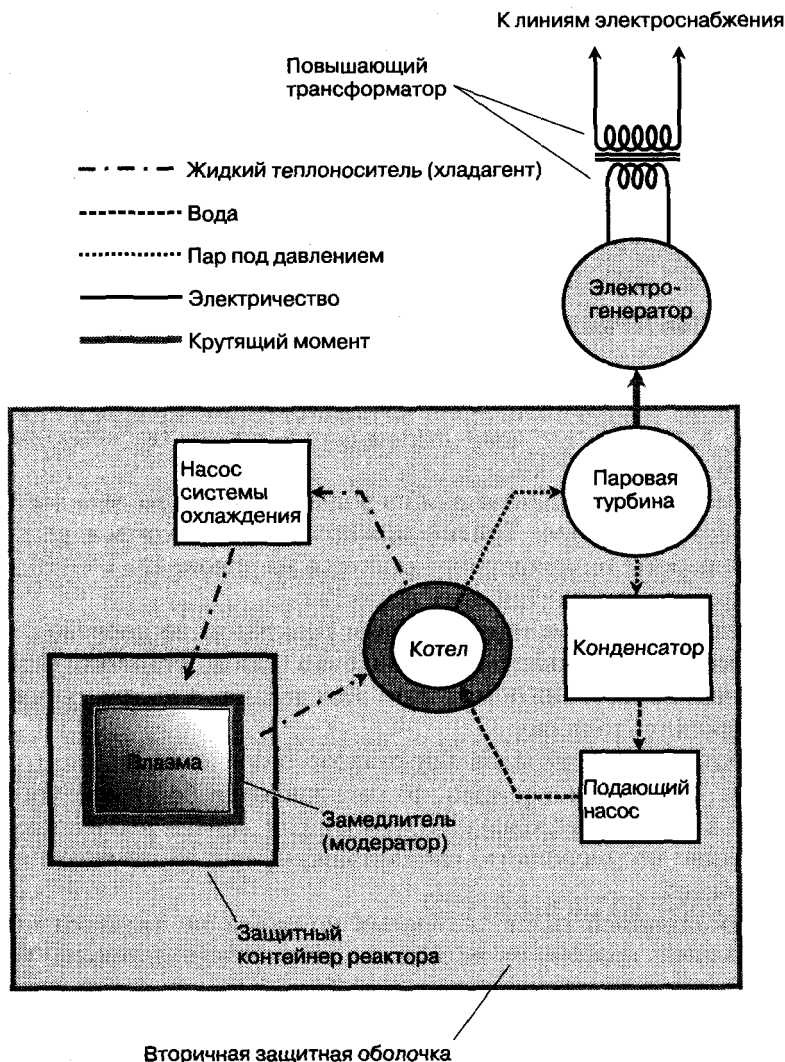
---

<sup>5</sup> Циклотронная частота — частота периодического движения заряженной частицы в постоянном магнитном поле. — *Прим. пер.*



## ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

На рисунке 12.5 представлена упрощенная функциональная схема электростанции с термоядерным реактором. За исключением типа используемой реакции, такая электростанция сходна с ядерной.



**Рис. 12.5.** Упрощенная функциональная схема электростанции, работающей на термоядерном синтезе (с одним реактором и одной турбиной)



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

Содержащая плазму камера, в которой проходит реакция термоядерного синтеза, окружена *замедлителем (модератором)*, состоящим из литиевых пластин, поглощающих быстрые нейтроны, излучаемые в процессе реакции синтеза. Поглощение быстрых нейтронов разогревает замедлитель, а также приводит к выделению из лития атомов трития — топлива, необходимого для поддержания реакции синтеза.

Поглощенное замедлителем тепло передается водяному котлу (*теплообменнику*) посредством жидкого теплоносителя (хладагента). Хладагент возвращается от стенок котла к плазменной камере. Вода в котле превращается в пар, приводящий в действие турбину, после чего пар конденсируется и подается обратно в котел специальным насосом. Турбина вращает вал электрогенератора, подсоединенный к линиям электропередачи через повышающий трансформатор.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

- Единственными материальными «побочными» продуктами термоядерного синтеза являются гелий-4, безвредный инертный газ, и тритий, который используется в качестве дополнительного топлива.
- Дейтерий легко добывается из воды. Лития более чем достаточно в земной коре. Тритий можно воспроизводить в реакторе. Для работы термоядерного реактора на основе D—T-синтеза необходимы только три этих вещества.
- Электростанция с термоядерным реактором не производит выбросов так называемых парниковых газов, угарного газа или пылевых загрязнителей, как это делают электростанции на природном топливе.
- Работающий термоядерный реактор безопаснее атомного реактора. Если он поврежден, то расплавления не происходит, так как в земных условиях термоядерный синтез необходимо постоянно поддерживать, «подпитывая» реактор топливом и/или энергией.
- Термоядерный синтез в земных условиях не является цепной реакцией, поэтому он не может выйти из-под контроля. Термоядерный реактор не взрывается. Термоядерная бомба способна взрываться потому, что взрывчатые компоненты (топливо для синтеза) в ней присутствуют в избытке и используются (реагируют) практически мгновенно, а не из-за цепной реакции. В термоядерном реакторе топлива для взрыва недостаточно.



### НЕДОСТАТКИ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

- Несмотря на то что непосредственно в процессе D—T-синтеза не образуется радиоактивных отходов, высвобождающиеся нейтроны со временем радиоактивно заражают защитную оболочку реактора. Эту проблему можно частично решить за счет использования *малочувствительных к радиации* материалов. Они в меньшей степени подвержены радиоактивному заражению в результате бомбардировки нейтронами, чем обычные материалы (такие как сталь), применяющиеся при строительстве кожухов реактора. Однако малочувствительные к радиации сплавы достаточно дороги.
- В процессе работы термоядерного реактора некоторое количество радиоактивного трития может быть выброшено в окружающую среду. Его период полураспада (время, за которое он потеряет половину своей радиоактивности) составляет 12 лет.
- Широкое распространение действующих термоядерных реакторов не ожидается раньше середины XXI века. На сегодня остаются нерешенными серьезные технологические и логистические проблемы. Вдобавок общественность еще не убеждена в том, что термоядерные реакторы являются безопасными.

### Задача 12.2

Представляют ли мощные магнитные поля, создаваемые катушками и плазмой, опасность для тех, кто обслуживает термоядерный реактор с магнитным удержанием плазмы?

### Решение 12.2

Воздействие магнитных полей — не проблема. Камеру, в которой находится плазма, можно экранировать с помощью листов из ферромагнитных материалов (железо или сталь), которые предохранят персонал от контакта с магнитными полями.

## Фотоэлектрическая энергетика

*Фотоэлемент (фотоэлектрическая ячейка)* — особый вид полупроводникового диода, который преобразует видимый свет, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение в электричество. Фотоэлементы, используемые для преобразования в электроэнергию солнечного света, обычно называются *солнечными батареями*. Один из наиболее распространенных типов солнечных батарей производится





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

из особым образом обработанного кремния<sup>6</sup> и называется *кремниевым фотогальваническим элементом (КФЭ)*.

### СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ

Принципиальная схема кремниевого фотогальванического элемента показана на рис. 12.6. Он делается из кремния двух типов: кремний *p-типа* (дырочный) и *n-типа* (электронный).

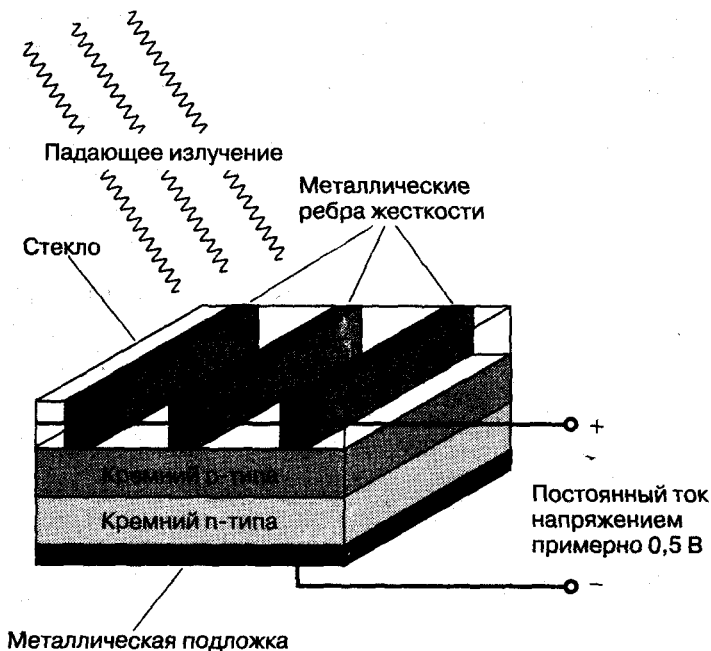


Рис. 12.6. Схема кремниевого фотогальванического элемента

Основой этого устройства является поверхность соприкосновения этих материалов, называемая *p-n-переходом* (электронно-дырочный

<sup>6</sup> Широко распространенное в речи (да и в СМИ) название кремния — силикон (например, Силиконовая долина) — ошибочно. По всей видимости, эта ошибка возникла из-за того, что названия двух разных материалов — *silicon* (кремний) и *silicone* (силикон, полимерный материал на основе кремния) — сходны при произношении до полного совпадения. Так что Silicon Valley — центр электронной, компьютерной и микрозлементной промышленности в США — это Кремниевая долина. — Прим. пер.



переходом). Верх элемента прозрачен, чтобы солнечный свет падал непосредственно на кремний. Положительный электрод сделан в виде металлических *ребер жесткости*, соединенных тонкими проводами. Отрицательный электрод — металлическая *подложка*, находящаяся в контакте с кремнием п-типа.

Когда лучистая энергия падает на р-п-переход, между материалами р-типа и п-типа возникает *разница потенциалов*, т. е. электрическое напряжение. При подключении к элементу нагрузки сила тока возрастает пропорционально яркости света, падающего на р-п-переход, вплоть до определенного критического значения. При усилении интенсивности освещения сила тока в элементе достигает максимума, называемого *током насыщения*, и выравнивается на этом значении. Отношение вырабатываемой электроэнергии к силе света, падающего на КФЭ, называется *коэффициентом преобразования*, или *КПД (коэффициентом полезного действия)* элемента.

### НАПРЯЖЕНИЕ, СИЛА ТОКА И МОЩНОСТЬ

Большинство солнечных батарей производят постоянный ток напряженностью примерно в 0,5 вольт, если к ним не подключена нагрузка. Если потребление электричества невелико, даже при достаточно сумрачном освещении можно получить максимальное выходное напряжение ( $V_{\text{вых}}$ ). С ростом потребления электричества для получения полного  $V_{\text{вых}}$  требуется более яркий свет.

Существует верхний предел силы тока, который может обеспечить солнечная батарея, и он не зависит от интенсивности освещения. Максимально достижимая сила тока обозначается  $I_{\text{max}}$ . Значение  $I_{\text{max}}$  для солнечной батареи зависит от размера площади р-п-перехода и от технологии, использованной при ее производстве.

Максимальная мощность  $P_{\text{max}}$  кремниевого фотогальванического элемента в ваттах эквивалентна произведению  $V_{\text{вых}}$  в вольтах на  $I_{\text{max}}$  в амперах. Таким образом,

$$P_{\text{max}} = 0,5 I_{\text{max}}.$$

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Фотоэлектрические ячейки часто объединяют в *последовательно-параллельные соединения*, повышая таким образом выходную мощность. Когда несколько фотоэлементов (или параллельных соединений нескольких фотоэлементов) соединяются в цепь последовательно, их выходное напряжение ( $V_{\text{вых}}$ ) увеличивается. Когда несколько



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

фотоэлементов (или последовательных соединений нескольких фотоэлементов) подсоединяются параллельно, максимальная сила тока ( $I_{\max}$ ) всех соединенных в цепь ячеек эквивалентна произведению  $I_{\max}$  одной ячейки или их комбинации на количество ячеек или их комбинаций. При этом максимальная мощность ( $P_{\max}$ ) последовательно-параллельного соединения одинаковых ячеек эквивалентна произведению  $P_{\max}$  каждой ячейки на количество ячеек. Иными словами, максимальная мощность ( $P_{\max}$ ) такого соединения эквивалентна произведению  $V_{\text{вых}}$  и  $I_{\max}$  всего соединения.

Для примера рассмотрим десять параллельно соединенных комбинаций из 36 последовательно соединенных фотоэлектрических ячеек каждая. Предположим, максимально достижимая сила тока для каждой ячейки составляет  $I_{\max} = 2,2$  ампера. Тогда

$$V_{\text{вых}} = 36 \times 0,5 \text{ В} = 18 \text{ В};$$

$$I_{\max} = 10 \times 2,2 \text{ А} = 22 \text{ А};$$

$$P_{\max} = V_{\text{вых}} I_{\max} = 18 \text{ В} \times 22 \text{ А} = 396 \text{ Вт}.$$

Это значение можно округлить до 400 ватт. Однако это лишь теоретический результат. На деле при подключенной к системе фотоэлектрических ячеек нагрузке ее выходная мощность будет ниже расчетной. Это происходит потому, что напряжение всей системы последовательно соединенных ячеек при подключении нагрузки падает на несколько процентов из-за возникающего внутреннего сопротивления в самой системе. В описанном выше случае реальное выходное напряжение ( $V_{\text{вых}}$ ) системы при потреблении электричества, близком к  $I_{\max}$ , составит только 14 вольт.

Таким образом, реальная выходная мощность составит:

$$P_{\max} = 14 \text{ В} \times 22 \text{ А} = 308 \text{ Вт},$$

что можно округлить до 300 ватт.

### НИЗКО-, СРЕДНЕ- И ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

В низковольтных слаботочных фотоэлектрических системах для достижения желаемого выходного напряжения ( $V_{\text{вых}}$ ) отдельные ячейки обычно подсоединяются последовательно. Для подзарядки 12-вольтовой аккумуляторной батареи стандартное значение  $V_{\text{вых}}$  составляет 16 В, что требует последовательного подсоединения 32 ячеек.

Такое соединение называют *фотоэлектрическим модулем*. Несколько модулей, подключенных параллельно, образуют *фотоэлек-*



*трическую панель (солнечную батарею)* и позволяют получать большие значения максимальной силы тока ( $I_{\max}$ ). Для достижения еще более высоких значений  $V_{\text{вых}}$  или  $I_{\max}$  несколько фотоэлектрических панелей подключают, соответственно, последовательно или параллельно, создавая фотоэлектрическую батарею.

Теоретически, последовательно подключая сотни и тысячи фотоэлектрических ячеек, можно получить очень высокое напряжение (до 5 киловольт постоянного тока), но на практике решить подобную задачу проблематично. Дело в том, что внутреннее (или собственное) сопротивление ячеек суммируется, что жестко ограничивает максимальное значение  $I_{\max}$  и приводит к тому, что под нагрузкой выходное напряжение падает. Эту проблему можно решить с помощью высоковольтных фотоэлектрических комплексов, где множество ячеек или низковольтных модулей подключены параллельно. В этом случае они образуют множество идентичных параллельно подключенных элементов, которые потом соединяются последовательно.

Получить среднее напряжение от низковольтной солнечной батареи можно с помощью инвертирующего усилителя мощности, запитанного от аккумулятора большой емкости. Солнечная батарея поддерживает заряд аккумулятора, а тот обеспечивает ток высокого напряжения для усилителя, когда это необходимо. Такая система позволяет получать обычный (для США) переменный ток напряжением 117 вольт от источников постоянного тока мощностью в 12 или 24 вольта.

### КОНСТРУКЦИЯ И РАСПОЛОЖЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Солнечная батарея производит больше всего энергии тогда, когда она развернута всей плоскостью к падающему солнечному свету и лучи солнца падают на ее поверхность прямо. Однако такое положение в пространстве не является единственно возможным. Даже если панель солнечной батареи находится под углом в  $45^\circ$  к падающим солнечным лучам, батарея получает 71% всей энергии на единицу площади по сравнению с идеальной ориентацией панели<sup>7</sup>. А смещение в  $15^\circ$  относительно идеальной позиции практически не сказывается на результате.

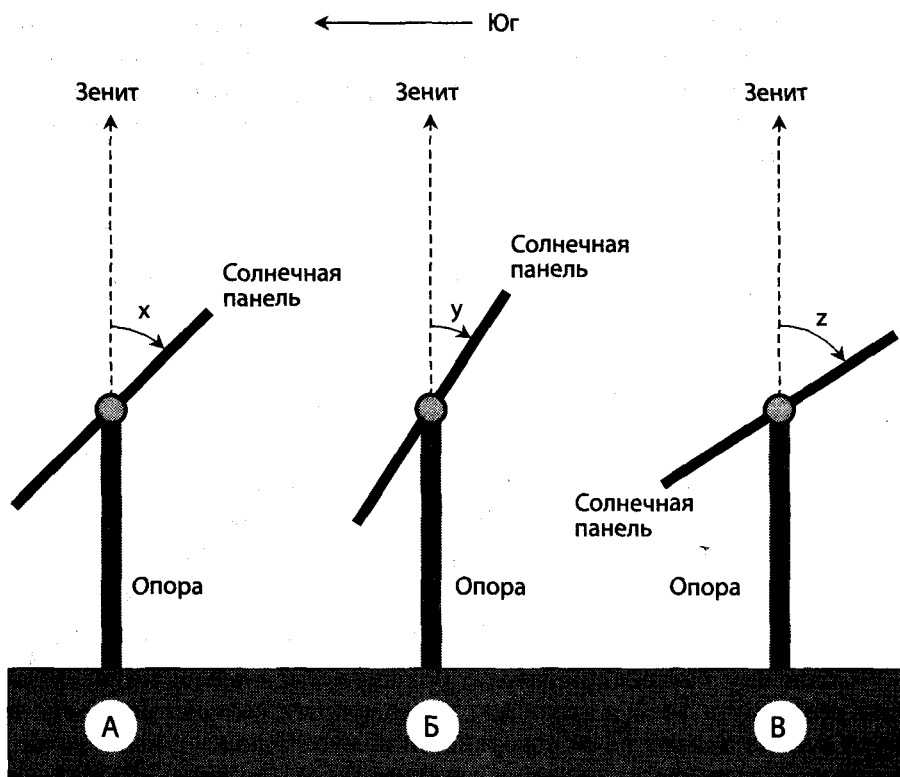
Солнечные батареи следует размещать в тех местах, где они получают наибольшее количество солнечного света в среднем в день

<sup>7</sup> Энергия, получаемая солнечной батареей, пропорциональна косинусу угла падения луча на поверхность фотоэлемента. — *Прим. ред.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

и в среднем за год. Их следует тщательно закрепить с тем, чтобы при сильном ветре они не потеряли ориентацию или не вырвались из креплений. Один из самых широко используемых методов — крепление солнечной батареи (или нескольких батарей) непосредственно на крутом скате крыши, обращенном на юг.

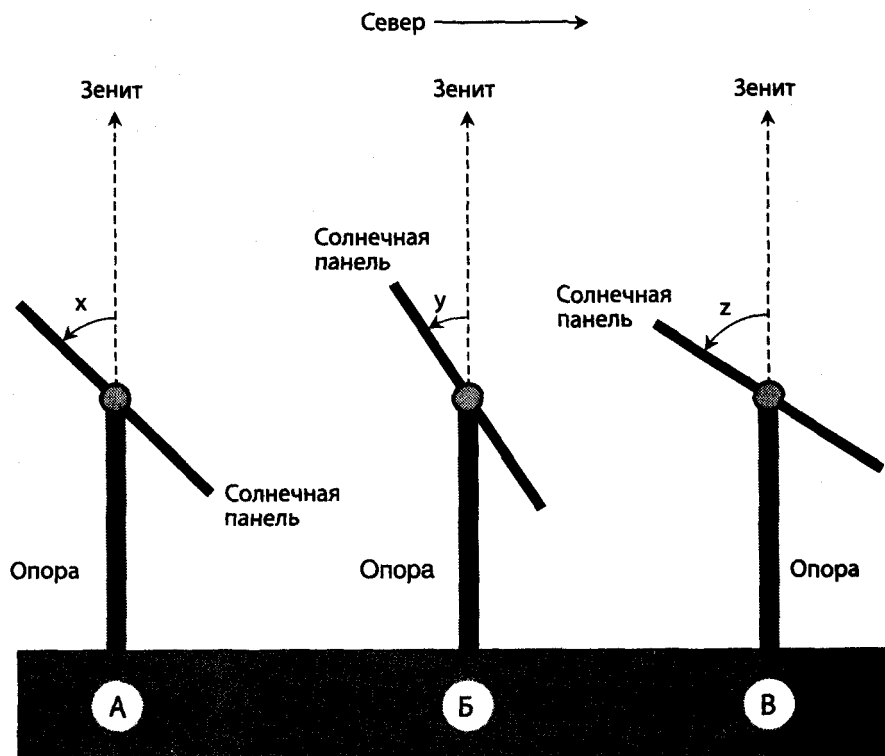


**Рис. 12.7.** Схемы оптимальной ориентации неподвижной солнечной панели, направленной на юг, в умеренных широтах Северного полушария для круглогодичной работы (А), осени и зимы (Б) и весны и лета (В). Углы  $x$ ,  $y$  и  $z$  отображают угол отклонения плоскости батареи от зенита. Во всех случаях конструкция изображена сбоку, направление взгляда — на запад

Идеальный вариант конструкции солнечной батареи — *экваториальная установка*; метод, схожий с тем, что применяется в конструкции сложных телескопов. Такая конструкция позволяет солнечной батарее «следить» за движением солнца в течение



всего дня в любой день года. Однако для многих потребителей такая конструкция оказывается непрактичной, а затраты на ее сооружение — чрезмерными для больших солнечных батарей или фотоэлектрических решеток, состоящих из нескольких панелей. Наилучшей альтернативой является конструкция с одним подшипником, которая позволяет подстраивать наклон панели вручную. При этом она всегда остается в целом направленной на юг (в Северном полушарии) или на север (в Южном полушарии). Подобная конструкция для одной батареи проиллюстрирована на рис. 12.7 и 12.8. Углы  $x$ ,  $y$  и  $z$  отображают угол отклонения плоскости батареи от зенита.



**Рис. 12.8.** Схемы оптимальной ориентации неподвижной солнечной панели, направленной на юг, в умеренных широтах Южного полушария для круглогодичной работы (А), осени и зимы (Б) и весны и лета (В). Углы  $x$ ,  $y$  и  $z$  отображают угол отклонения плоскости батареи от зенита. Во всех случаях конструкция изображена сбоку, направление взгляда — на запад



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### СЕВЕРНОЕ ПОЛУШАРИЕ

Показанная на рис. 12.7 конструкция будет эффективно работать на территориях между примерно  $20^\circ$  и  $60^\circ$  северной широты. Среди городов, находящихся в этой зоне, можно назвать:

- Лас-Вегас, Чикаго, Майами (США);
- Париж (Франция);
- Берлин (Германия);
- Москву (Россия);
- Пекин (Китай);
- Осаку (Япония).

На рисунке 12.7, А показано положение для круглогодичной работы солнечной батареи. Угол  $x$  должен быть равен  $90^\circ$  минус значение северной широты, на которой установлена батарея.

Если конструкция предусматривает подшипник (и, соответственно, возможность переориентировать солнечную батарею), в зависимости от времени года можно использовать две основные схемы, показанные на рис. 12.7, Б и 12.7, В.

Осенью и зимой (с 21 сентября по 20 марта) оптимальным является схема 12.7, Б, где угол  $y$  составляет примерно  $78^\circ$  минус значение широты. Для весны и лета (с 21 марта по 20 сентября) оптимальна схема 12.7, В, где угол  $z$  составляет примерно  $102^\circ$  минус значение широты.

### ЮЖНОЕ ПОЛУШАРИЕ

Показанная на рис. 12.8 конструкция будет эффективно работать на территориях между примерно  $20^\circ$  и  $60^\circ$  южной широты. Среди городов, находящихся в этой зоне, можно назвать:

- Сантьяго (Чили);
- Буэнос-Айрес (Аргентина);
- Рио-де-Жанейро (Бразилия);
- Кейптаун, Дурбан (ЮАР);
- Перт, Сидней (Австралия);
- Окленд (Новая Зеландия).

На рисунке 12.8, А показано положение для круглогодичной работы солнечной батареи. Угол  $x$  должен быть равен  $90^\circ$  минус значение южной широты, на которой установлена батарея.

Если конструкция предусматривает подшипник (и, соответственно, возможность переориентировать солнечную батарею), в зависимости от времени года можно использовать две основные схемы, показанные на рис. 12.8, Б и 12.8, В. Осенью и зимой (с 21 марта



по 20 сентября) оптимальной является схема 12.7, Б, где угол  $y$  составляет примерно  $78^\circ$  минус значение широты. Для весны и лета (с 21 сентября по 20 марта) оптимальна схема 12.7, В, где угол  $z$  составляет примерно  $102^\circ$  минус значение широты.

## Задача 12.3

Предположим, существует множество солнечных модулей, каждый из которых состоит из 53 идентичных фотоэлектрических ячеек, соединенных последовательно. Каждая ячейка производит при ярком солнечном свете электрический ток напряжением ровно в 0,5 В и силой в 2 А. Вы собираете две солнечные батареи по 20 таких модулей, соединенных параллельно, в каждой. Затем вы подсоединяете эти батареи последовательно. Предположим, по данным производителя, выходное напряжение под нагрузкой должно снизиться на 10% по сравнению с теоретической (без нагрузки) величиной. Каковы практические (эксплуатационные) значения  $V_{\text{вых}}$ ,  $I_{\text{max}}$  и  $P_{\text{max}}$  вашего фотоэлектрического комплекса?

## Решение 12.3

Прежде всего подсчитаем значение *теоретического выходного напряжения* (назовем эту величину  $V_{\text{вых-тер}}$ ) и уменьшим ее на 10%, чтобы получить значение фактического выходного напряжения,  $V_{\text{вых}}$ . Затем вычислим значение максимальной силы тока  $I_{\text{max}}$  для всего комплекса. Наконец, определим значение максимальной мощности  $P_{\text{max}}$ , умножив  $V_{\text{вых}}$  на  $I_{\text{max}}$ .

Теоретически каждый модуль производит  $53 \times 0,5 \text{ В} = 26,5 \text{ В}$ . Выходное напряжение комбинации из 20 параллельно подсоединенных модулей, формирующих одну батарею, таким образом, теоретически равно 26,5 В. Идентичные значения напряжения в параллельной цепи не суммируются. Две такие батареи, соединенные последовательно, составляют один комплекс (решетку). Таким образом,

$$V_{\text{вых-тер}} = 2 \times 26,5 \text{ В} = 53 \text{ В}.$$

Уменьшение этой величины на 10% эквивалентно ее умножению на 0,9 или на 0,9. Итого:

$$V_{\text{вых}} = 0,9 \times 53 \text{ В} = 47,7 \text{ В}.$$

Максимальная сила тока, производимого каждой ячейкой, равна 2 А. Значит, каждый последовательно подсоединенный набор ячеек (т. е. модуль) также производит ток с максимальной силой в 2 А (идентичные значения силы тока в последовательной цепи не сум-





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

мируются). Когда 20 модулей подсоединены параллельно в единую батарею, максимальный ток равен  $20 \times 2 \text{ А} = 40 \text{ А}$ .

Две батареи подсоединены в нашем комплексе последовательно. Значит, максимальная сила производимого этим комплексом тока останется равной 40 А. Таким образом,

$$I_{\max} = 40 \text{ А.}$$

Для определения максимальной выходной мощности умножим значения  $V_{\text{вых}}$  на  $I_{\max}$ :

$$P_{\max} = V_{\text{вых}} I_{\max} = 47,7 \text{ В} \times 40 \text{ А} = 1908 \text{ Вт.}$$

Это значение можно округлить до 1900 Вт, или 1,9 киловатт.

## Солнечные энергоцентры

Солнечные энергоцентры (крупные фотоэлектрические системы), предназначенные для обеспечения электроэнергией многочисленных потребителей, также называются *солнечными фермами*. Основу солнечного энергоцентра составляет крупный агрегат с большим количеством коллекторов (солнечных батарей).

Солнечные фермы можно обнаружить в различных хорошо освещаемых солнцем районах США и других стран. В зависимости от размера и количества солнечных панелей такая установка может производить от нескольких десятков киловатт до сотен мегаватт и более электроэнергии.

### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

Типичная крупная солнечная ферма имеет тысячи (а иногда и сотни тысяч) отдельных фотоэлектрических ячеек, соединенных в сложную сеть модулей, батарей и решеток.

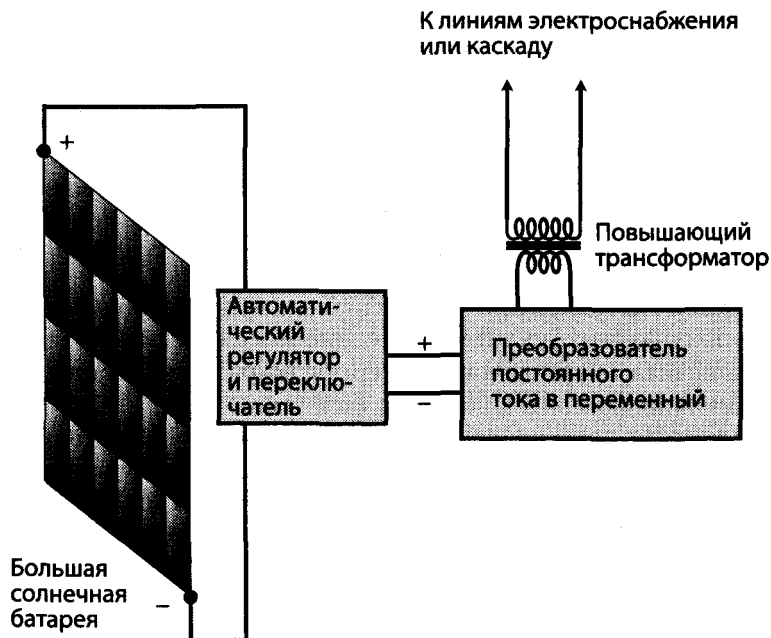
На самых современных солнечных фермах солнечные панели и наборы панелей установлены с использованием экваториальной монтировки так, чтобы они могли следовать за солнцем в течение всего светового дня.

Управляемая компьютером механическая система ежедневно отслеживает оптимальное положение панелей. Фотоэлектрические панели подсоединены к электросетям через инвертирующие усилители и трансформаторы.

На рисунке 12.9 представлена схематическая конфигурация такой системы. На крупнейших солнечных энергоцентрах многочисленные инверторы соединены последовательно и синфазно, т. е. их волны



совпадают по фазе. Ток от них через повышающие трансформаторы передается в высоковольтные линии электропередачи переменного тока.



**Рис. 12.9.** Упрощенная функциональная схема солнечного энергоцентра с солнечной батареей, инвертором и повышающим трансформатором для подключения к электросетям

### ПРЕИМУЩЕСТВА СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГОЦЕНТРОВ

- Солнечный свет — возобновляемый и практически неисчерпаемый источник энергии.
- Солнечные энергоцентры не производят так называемых «парниковых» газов, токсичных компонентов или пылевых загрязнителей.
- Работа фотоэлектрических ячеек не сопровождается шумом.
- Солнечные энергоцентры, как и ветряные, можно широко распределить на местности. Это позволяет разнести источники электроэнергии по регионам и помочь созданию нечувствительной к сбоям (защищенной от катастрофических сбоев и терактов) системы электроснабжения.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Солнечная энергетика может использоваться как дополнительный источник энергии наряду с иными способами производства электричества. Это диверсифицирует систему электроснабжения страны.
- Солнечные энергоцентры обычно не бросаются в глаза. На них нет огромных башен или иных строений. Солнечный энергоцентр незаметен так же, как и роща фруктовых деревьев.
- Солнечные энергоцентры — важный элемент долгосрочной стратегии, направленной на снижение или полный отказ от зависимости от невозобновляемых источников для производства электричества.

### НЕДОСТАТКИ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГОЦЕНТРОВ

- Крупные фотоэлектрические системы нерентабельны для мест, не получающих достаточного солнечного освещения.
- Солнечная энергия, как и энергия ветра, неустойчива. Ее невозможно запастись в больших количествах.
- Солнечная энергия не может сама по себе удовлетворить потребности в электричестве города, штата или государства целиком. В лучшем случае это дополнительный источник энергии.
- Если не принять определенных мер предосторожности при разработке солнечной батареи и неверно выбрать место ее расположения, то при неравномерном ее освещении (одна часть — под солнцем, другая — в тени) может возникнуть *неравномерность нагрузки*. Она снижает выходную мощность батареи сильнее, чем это можно было бы ожидать при обычных подсчетах выходной мощности затененной поверхности батареи.
- Оптимальная мощность крупной фотоэлектрической системы достижима только тогда, когда солнечные панели установлены на подвижных несущих конструкциях. Это может дорого стоить. Однако фиксированное размещение солнечных панелей вне зависимости от того, насколько тщательно продумано их расположение, всегда имеет свои недостатки.
- Под солнечные энергоцентры необходим землеотвод.
- Град или ураган могут повредить или уничтожить солнечные батареи.

### Задача 12.4

Что такое кремний, из которого производится большинство фотоэлектрических ячеек? Ограничен ли запас этого материала? Не иссякнет ли он когда-нибудь?



### Решение 12.4

Кремний — элемент с атомным номером 14 и атомным весом 28. В чистом виде кремний — легкий, достаточно хрупкий металл, на вид похожий на алюминий. Кремний — *полупроводник*; он проводит электрический ток лучше, чем диэлектрики, но хуже, чем превосходно проводящие ток серебро или медь. Кремний в больших количествах содержится в земной коре. Там его вполне достаточно для того, чтобы вечно удовлетворять потребности человечества. В своем природном состоянии кремний почти всегда находится в соединении с кислородом или другими элементами. Хороший источник кремния — *диоксид кремния (кремнезем)*, содержащийся в кварцевом песке.

## Малые фотоэлектрические системы

*Малыми фотоэлектрическими системами* называют устройства, способные в идеальных условиях обеспечить электричеством жилой дом. Как и более крупные аналоги, малые фотоэлектрические системы не способны производить энергию на постоянной основе. Для того чтобы обеспечить бесперебойное электроснабжение при помощи малой фотоэлектрической системы, необходимо оборудовать ее накопительными батареями, или подключить ее к линии электроснабжения, или сделать и то и другое.

### АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ

*Малая автономная фотоэлектрическая система* оснащена набором аккумуляторных батарей для сохранения электроэнергии, вырабатываемой солнечной батареей. Батареи снабжают энергией инвертирующий усилитель мощности, выдающий на выходе переменный ток напряжением 117 вольт. В некоторых случаях заряд батарей применяется напрямую, для специально разработанной бытовой техники, способной использовать низковольтный постоянный ток. На рисунке 12.10 представлена функциональная блок-схема автономной малой фотоэлектрической системы, которая может вырабатывать переменный ток напряжением 117 вольт.

Батареи позволяют системе снабжать электричеством потребителя даже в том случае, если солнечного света недостаточно для нормальной работы солнечной батареи. Автономная фотоэлектрическая система позволяет не зависеть от коммунальных служб, однако если солнечная батарея не сможет функционировать долгое время, то заряд в батареях закончится, а с ним — и электроснабжение, если не предусмотреть резервный источник тока.

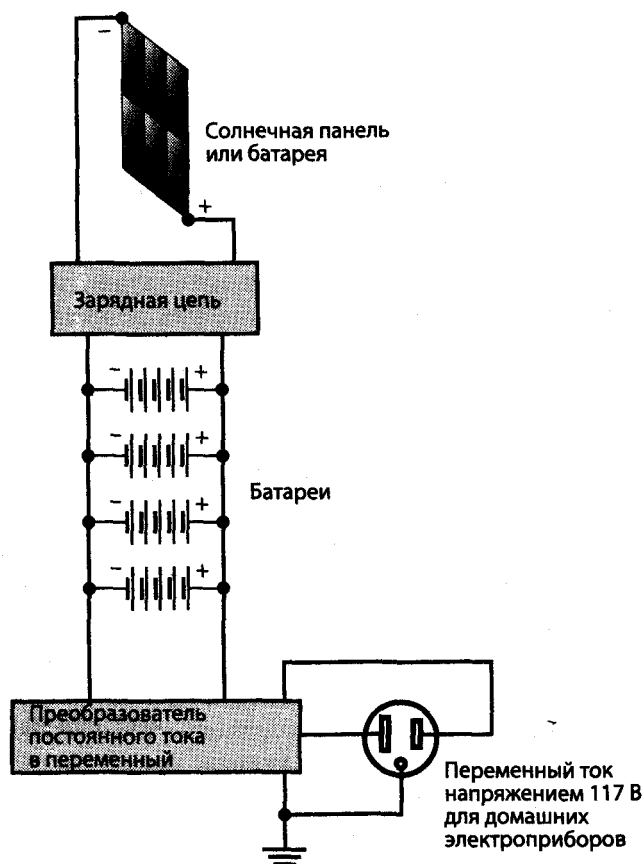


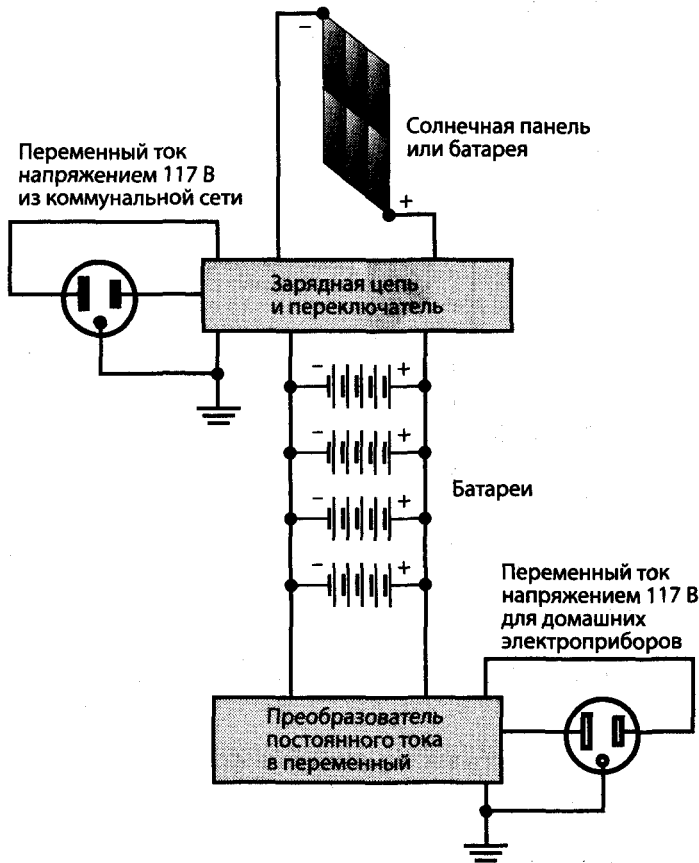
Рис. 12.10. Малая автономная фотозлектрическая система

## АККУМУЛИРУЮЩАЯ ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА

Малая аккумулярующая интерактивная фотозлектрическая система сходна с автономной за исключением одного существенного дополнения. В случае продолжительных неблагоприятных для работы солнечной батареи погодных условий аккумуляторы подпитываются напряжением за счет местной коммунальной электросети, что позволяет избежать отключения электропитания. Аккумуляторы подсоединяются к сети через зарядное устройство, оснащенное переключателем и детектором заряда в аккумуляторах. Если турбина не работает и заряд не поступает в аккумуляторы, переключатель подключает их к сети. Когда погодные условия позволяют солнечной



батарею начать работу, переключатель отключает аккумуляторы от сети, вновь подсоединяя их к фотоэлектрической системе.



**Рис. 12.11.** Малая аккумулирующая интерактивная фотоэлектрическая система

На рисунке 12.11 представлена функциональная блок-схема интерактивной фотоэлектрической системы. Эта система не предусматривает возможности передать излишки вырабатываемого электричества в коммунальные электросети. Электричество течет только в одном направлении — от сети электропередачи через зарядный контур и переключатель в аккумуляторы, причем это происходит только в том случае, когда они нуждаются в подзарядке, а фотоэлектрическая система не производит достаточное для этого количество электроэнергии.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### МЕЖСЕТЕВАЯ ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА

*Малая межсетевая интерактивная фотоэлектрическая система* также подсоединена к коммунальной электросети. Излишки электроэнергии в период минимального потребления продаются коммунальной службе, поставляющей электричество в сеть, а в периоды повышенного потребления выкупаются обратно у этой же компании.

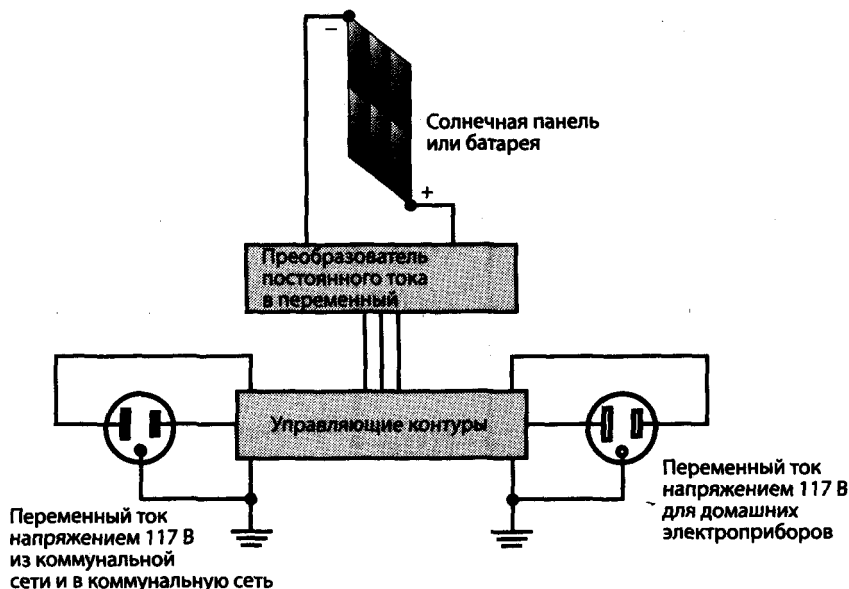


Рис. 12.12. Малая межсетевая интерактивная фотоэлектрическая система

Преимущество этой системы в том, что потребитель может пользоваться электричеством (покупая его из коммунальной сети), даже если неблагоприятные погодные условия продолжаются долго. Другое преимущество — отсутствие аккумуляторов, что позволяет сооружать более крупные (в плане пиковых значений получаемой электроэнергии) системы, чем в случае с автономными или аккумуляторными аналогами. В некоторых штатах США предлагаются хорошие условия компенсационных сделок (выкупа электроэнергии) с коммунальными компаниями, в некоторых — нет. Стоит заранее поинтересоваться положениями местного законодательства, касающимися компенсационных сделок, прежде чем вкладывать деньги в сооружение межсистемных интерактивных систем любого типа.



На рисунке 12.12 представлена функциональная блок-схема малой межсетевой интерактивной фотоэлектрической системы.

### **ПРЕИМУЩЕСТВА МАЛЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

- Солнечный свет — возобновляемый и практически неисчерпаемый источник энергии.
- Фотоэлектрические системы не производят так называемых «парниковых газов», токсичных компонентов или пылевых загрязнителей.
- Работа фотоэлектрических ячеек не сопровождается шумом.
- Фотоэлектрические системы могут служить вспомогательными источниками электроэнергии. Использование фотоэлектрической системы вместе с ветряной электростанцией и/или малой ГЭС позволяет добиться независимости от коммунальных электросетей. Это надежней, чем использование единственного альтернативного источника электричества.
- Типичная малая фотоэлектрическая система совершенно не бросается в глаза. Иногда ее вообще невозможно заметить.
- Фотоэлектрические системы разных типов — важный элемент долгосрочной стратегии, направленной на снижение или полный отказ от зависимости от невозобновляемых источников для производства электричества.
- Межсетевая интерактивная фотоэлектрическая система проста в установке и эксплуатации и практически безотказна, если она была корректно установлена, а солнечные батареи оберегаются от повреждений.
- Межсетевая интерактивная фотоэлектрическая система практически не требует ухода. Установленную и подключенную систему можно просто оставить в покое.

### **НЕДОСТАТКИ МАЛЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

- Фотоэлектрические элементы производят электроэнергию только в том случае, когда они освещены в достаточной степени. В местах, где недостаточно прямого солнечного света, сооружение малых фотоэлектрических систем редко оказывается рентабельным.
- Если солнечные панели занесет снегом или мусором (опавшими листьями, например), их надо очистить, иначе система не сможет работать.
- Так же как и в случае с солнечной фермой, может возникать проблема неравномерности нагрузки, если солнечная батарея освещена неравномерно (одна часть на свету, другая — в тени).





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- Град или ураган могут повредить или уничтожить солнечную батарею.
- Необходимо удостовериться в том, что потребность в электричестве не превышает максимально достижимую силу тока системы.
- Установка малой фотоэлектрической системы, способной полностью обеспечить электричеством жилой дом, может потребовать таких вложений, которые никогда не окупятся.
- Если в аккумулирующей фотоэлектрической системе используются свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, возникает риск выделения опасных испарений. Такие батареи требуют отдельного ухода.

### Задача 12.5

Можно ли использовать в автономных фотоэлектрических системах огромные аккумуляторные батареи для того, чтобы обеспечить бесперебойную работу этих систем даже в случае длительной непогоды? Аккумуляторные батареи нужного размера (емкости) могли бы снабжать электричеством сеть на протяжении нескольких дней или даже недель, не требуя подзарядки от фотоэлектрической системы...

### Решение 12.5

Бесперебойная работа подобной системы требует создания таких условий, при которых аккумуляторные батареи могли бы полностью зарядиться от фотоэлектрической системы за один-два солнечных дня. Единственный способ добиться этого — установить достаточно большую солнечную панель, которая соответствовала бы размеру (емкости) аккумуляторной батареи (кроме того, большая солнечная батарея способна производить небольшое количество электроэнергии для зарядки аккумуляторной батареи даже в пасмурную погоду). Увеличение размера солнечной панели и аккумуляторной батареи означает резкий рост затрат на их приобретение и установку. Вентилирование и уход за аккумуляторной батареей такого размера также создают определенные неудобства. Но если вы располагаете неограниченными средствами, можете позволить себе лучших инженеров, владеете необходимым землеотводом для установки солнечной батареи, твердо решили не зависеть от коммунальной электросети и живете в достаточно солнечном районе, то обеспечить бесперебойное электроснабжение своего дома при помощи автономной фотоэлектрической системы среднего размера вполне возможно.



### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отвечая на эти вопросы, вы можете пользоваться текстом книги. Восемь правильных ответов — хороший результат. Ответы помещены в конце книги.

1. Предположим, кремниевый фотоэлемент при прямом солнечном освещении производит электрический ток с напряжением 0,50 вольт и силой 2 ампера. Какое количество электроэнергии в ваттах в час (ватт-часов) произведет этот элемент в течение 6 часов?  
(а) 0,1 Вт × ч;  
(б) 1 Вт × ч;  
(в) 6 Вт × ч;  
(г) 36 Вт × ч.
2. Какой из приведенных ниже материалов радиоактивен?  
(а) водород (1H);  
(б) дейтерий (2H);  
(в) тритий (3H);  
(г) гелий-4 (He-4).
3. Урановый ядерный реактор не может взорваться подобно ядерной бомбе, потому что:  
(а) урановое топливо для ядерного реактора не обогащается настолько, чтобы произошла мгновенная цепная реакция, которая происходит в ядерной бомбе;  
(б) атомы урана, который используется в качестве топлива для ядерных реакторов, не являются изотопами, необходимыми для производства ядерной бомбы;  
(в) в ядерном реакторе невозможно собрать в одном месте достаточное для взрыва количество урана;  
(г) температура внутри ядерного реактора слишком высока для ядерного взрыва.
4. Если на находящуюся под ярким солнцем солнечную батарею неожиданно опустится темная материя, которая прикроет часть солнечных панелей, то:  
(а) выходное напряжение резко возрастет;  
(б) если солнечная батарея разработана некорректно, может произойти неравномерность нагрузки;  
(в) максимально достижимый ток всех ячеек возрастет;  
(г) текущая мощность солнечной батареи останется неизменной.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

5. Плазма хорошо проводит электрический ток, так как:
  - (а) протоны тесно связаны с ядром;
  - (б) установлена сверхнизкая температура;
  - (в) это агрегатное состояние вещества имеет низкую плотность;
  - (г) электроны могут легко перемещаться между атомами.
6. Предположим, 34 кремниевых фотоэлемента подсоединены последовательно и на прямом солнечном свете каждый производит ток силой 1,7 А. Ток какой силы произведет весь модуль на прямом солнечном свете, если пренебречь эффектом внутреннего сопротивления?
  - (а) 0,05 А;
  - (б) 1,7 А;
  - (в) 20 А;
  - (г) 58 А.
7. Атомный номер химического элемента всегда равен:
  - (а) количеству нейтронов в одном атоме;
  - (б) количеству протонов в одном атоме;
  - (в) сумме количества протонов и нейтронов в одном атоме;
  - (г) количеству электронов в одном атоме.
8. Атомный вес наиболее распространенного изотопа урана равен:
  - (а) 92;
  - (б) 234;
  - (в) 235;
  - (г) 238.
9. Литиевый замедлитель (модератор) в термоядерном реакторе используется для:
  - (а) предотвращения ионизации плазмы;
  - (б) поддержания температуры плазмы;
  - (в) выделения тритиевого горючего для реактора;
  - (г) ни для чего не используется, так как литий не обладает достаточной массой.
10. Стадия затухания реакции ядерного распада задолго до того, как использовано все топливо, называется:
  - (а) надкритической;
  - (б) критической;
  - (в) докритической;
  - (г) квазикритической.

# Глава 13

## Экзотические способы получения электричества

Электричество можно получать из собственного тепла недр Земли, в процессе сжигания или обработки биологических отходов, а также при помощи топливных элементов. Кроме того, запасы электрической энергии хранятся между поверхностью Земли и верхними слоями атмосферы.

### Геотермальная энергия

Термин *геотермальный* происходит от греческих слов «земля» и «тепло» («жар»), т. е. означает «тепло земли». Ядро Земли разогрето до высочайших температур, в основном в результате распада радиоактивных материалов, период полураспада которых составляет миллионы и миллиарды лет. Глубоко под поверхностью Земли ее кора находится в жидком состоянии, называемом *магмой*. Периодически магма подходит к поверхности Земли — этим объясняются извержения вулканов.

#### ВСЕ ГЛУБЖЕ, ВСЕ ЖАРЧЕ

В среднем температура Земли повышается примерно на 28° по шкале Цельсия на каждый километр, или на 80° по шкале Фаренгейта на каждую милю, вглубь земной коры. Это соотношение сохраняется неизменным на протяжении нескольких километров вглубь. В некоторых участках земной коры температура растет быстрее, в других — медленнее. Но вырыть достаточно глубокую шахту, где земная порода будет настолько горяча, чтобы вскипятить воду и получить пар, можно практически везде. В этом состоит суть геотермальной энергетики.

Неудивительно, что наилучшими районами для возведения *геотермальных электростанций* являются те, где температура земной



коры повышается быстрее всего. Вулканические районы — прекрасный пример таких мест. Геологически стабильные районы или невулканические возвышенности обычно не слишком подходят для геотермальной энергетики, но и здесь бывают исключения. Некоторые территории Вайоминга или Южной Дакоты в США находятся на большой высоте над уровнем моря и не имеют поблизости активных (действующих) вулканов. Тем не менее эти территории достаточно перспективны для развития геотермальной энергетики.

### Геотермальные и паротермальные электростанции

На рисунке 13.1 представлена упрощенная схема *геотермальной электростанции*. Вода закачивается *насосом* вглубь земной коры через *нагнетательную скважину*. Скважина должна быть достаточно глубокой, чтобы достичь пород земной коры, разогретых выше температуры кипения воды. Вода просачивается сквозь породу, нагревается и поднимается на поверхность через расположенную рядом *эксплуатационную скважину*. Из нее горячая вода поступает в *испаритель*, где частично превращается в пар. Неиспарившаяся вода из испарителя снова закачивается насосом вглубь земной коры.

Пар из испарителя приводит в движение паровую турбину, вращающую вал электрогенератора. Пройдя турбину, пар охлаждается в *конденсаторе*, снова превращаясь в жидкость, которая вновь закачивается вглубь Земли насосом вместе с не выпаренной в испарителе водой. Воду из конденсатора также можно использовать для питья и ирригации, так как она, по сути, является дистиллированной. Конденсатор нужно регулярно промывать и очищать от накапливающегося минерального осадка. Если вода, поступающая из эксплуатационной скважины, сильно минерализована, промывать конденсатор нужно чаще.

В некоторых районах породы земной коры настолько раскалены, что вода испаряется уже в эксплуатационной скважине, на пути к поверхности. Этот пар можно сразу использовать в паровой турбине. Такая система не нуждается в испарителе и называется *паротермальной*.

#### ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ БИНАРНОГО ЦИКЛА

В *геотермальных электростанциях бинарного цикла* вода закачивается вглубь Земли и поднимается к ее поверхности горячей, так же как и в обычных геотермальных электростанциях. Однако она поступает не в испаритель, а в *теплообменник*, где большин-



ство ее тепловой энергии передается другой жидкости, называемой *бинарной*. Иногда в качестве бинарной жидкости используется вода, но чаще в этом качестве применяется легкоиспаряющаяся жидкость, напоминающая хладагент. Она легко превращается в пар при температуре ниже точки кипения воды. Этот процесс происходит в специальном низкотемпературном *котле*.

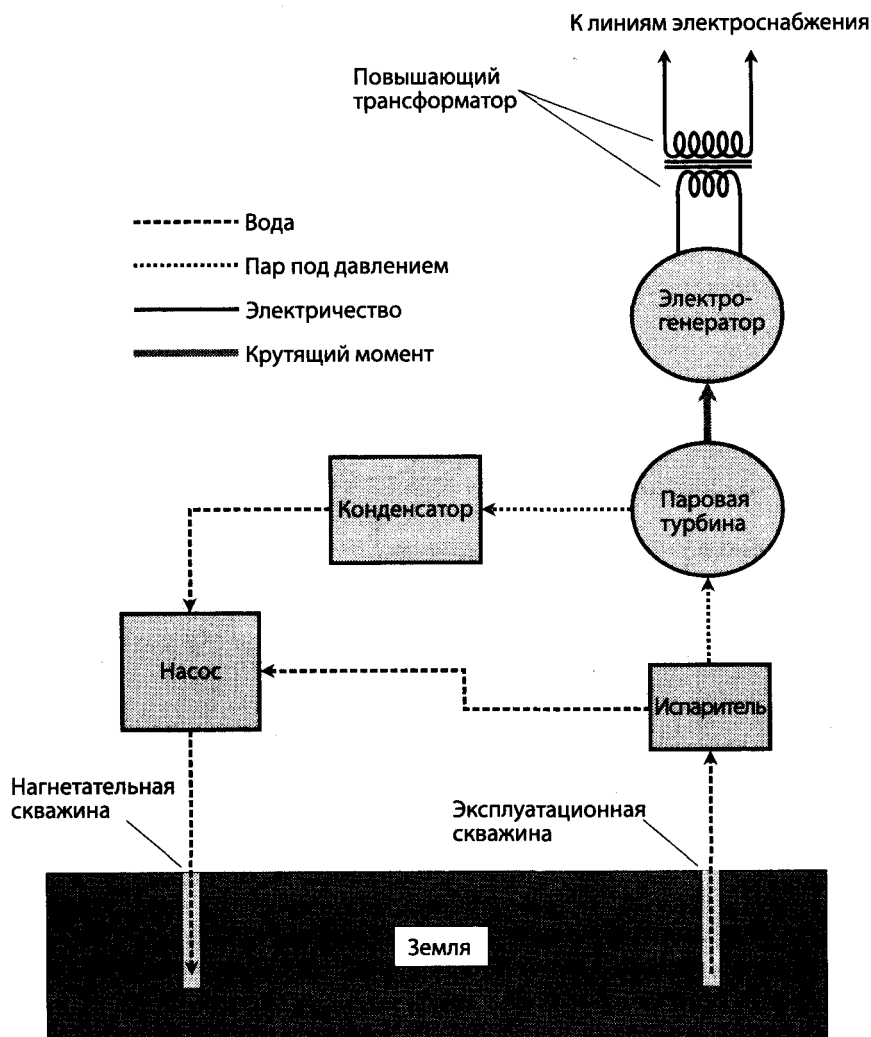


Рис. 13.1. Упрощенная функциональная схема геотермальной электростанции

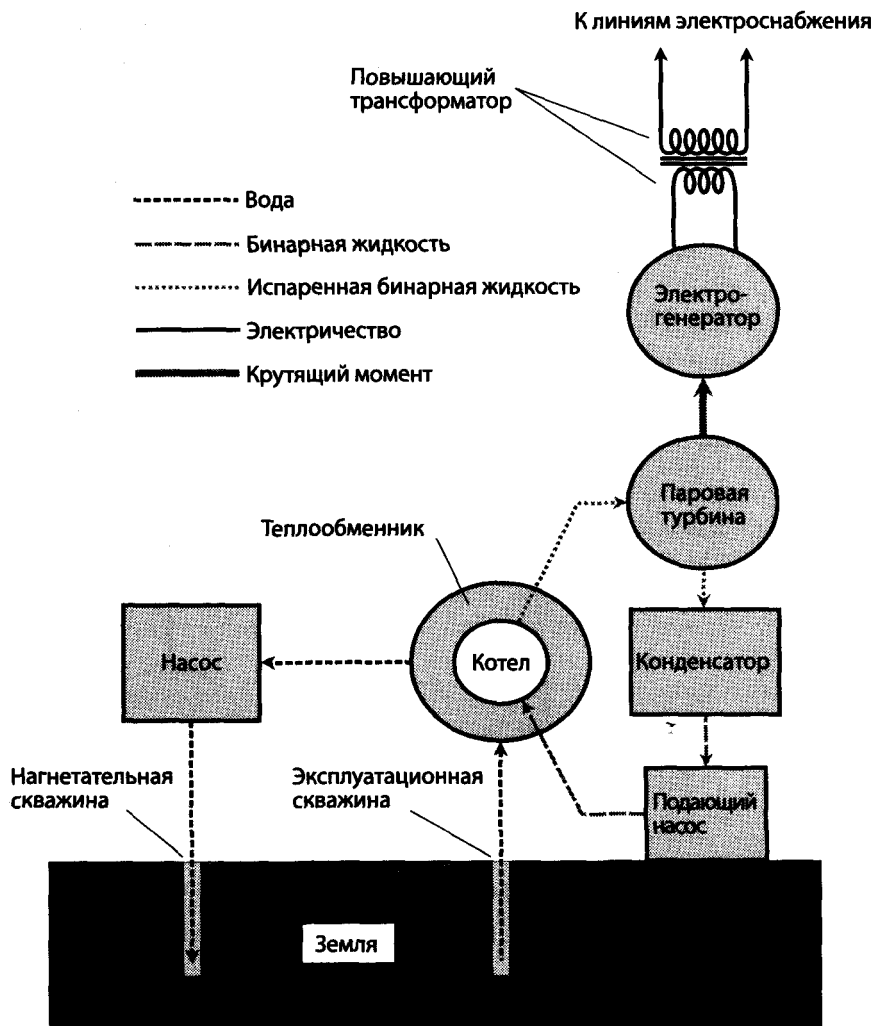


Рис. 13.2. Упрощенная функциональная схема геотермальной электростанции бинарного типа

Пар под давлением подается на паровую турбину, пройдя которую он снова охлаждается в конденсаторе, превращается в жидкость и поступает обратно в котел.

Бинарная жидкость циркулирует в замкнутой системе и не вступает в контакт с термальной водой, которую закачивают вглубь зем-



ной коры. В этой системе остается меньше минеральных осадков, чем при работе паротермальных электростанций, поскольку вода, прошедшая через разогретые породы земной коры, не достигает точки кипения.

Кроме того, электростанции бинарного цикла не производят выбросов в атмосферу. Такие электростанции способны эффективно функционировать даже в условиях, когда породы земной коры недостаточно раскалены для работы обычных геотермальных или паротермальных электростанций. На рисунке 13.2 представлена упрощенная функциональная схема работы геотермальной электростанции бинарного типа.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

- Запасы геотермальной энергии велики, хотя и не бесконечны. Ее можно считать возобновляемым источником энергии — во всяком случае, при условии, что в нагнетательную скважину не закачивается слишком много воды за слишком короткое время.
- Геотермальная электростанция для работы не требует поставок топлива из внешних источников.
- Работа геотермальных электростанций не сопровождается вредными или токсичными выбросами (см., однако, третий недостаток геотермальных электростанций ниже).
- Помимо необходимого для первого старта насоса (или насосов) внешнего источника энергии, геотермальным электростанциям для дальнейшей работы внешняя энергия (топливо) не нужна. С началом работы геотермальной электростанции ее насосы можно запитывать электричеством, которое вырабатывается на самой станции.
- Эксплуатация геотермальной электростанции не требует дополнительных расходов, кроме расходов на профилактическое техобслуживание или ремонт.
- Геотермальные электростанции не портят пейзаж и не требуют значительного землеотвода.
- Обычная геотермальная электростанция, расположенная на берегу моря или океана, может применяться и для опреснения воды, которую затем можно использовать для питья или ирригации. Опреснение происходит естественным путем в результате дистилляции — разогрева воды и охлаждения водяного пара в процессе работы электростанции.





### НЕДОСТАТКИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

- Найти подходящее место для строительства геотермальной электростанции и получить разрешение местных властей и согласие жителей на ее возведение может быть проблематичным.
- Иногда действующая геотермальная электростанция может остановиться в результате естественных изменений в земной коре. Кроме того, причиной ее остановки может стать плохой выбор места или чрезмерная закачка воды в породу через нагнетательную скважину.
- Через эксплуатационную скважину могут выделяться горючие или токсичные газы или минералы, содержащиеся в породах земной коры. Избавиться от них достаточно сложно. Правда, в некоторых случаях их можно сифонировать (собрать) и переработать в горючее (нефть-сырец или природный газ, например).

#### Задача 13.1

Можно ли построить небольшую геотермальную электростанцию, способную обеспечить электричеством дом или небольшой поселок?

#### Решение 13.1

Это можно осуществить в районах, где не нужно бурить глубокие дорогие скважины. Наиболее показательным примером является, пожалуй, Исландия, которая, по сути, находится на вершине гигантского вулкана. На территории США среди таких районов можно назвать территории вокруг Йеллоустоуна, Термополиса и Саратоги в штате Вайоминг и вокруг города Хот Спрингс в Южной Дакоте<sup>1</sup>.

## Энергия из биомассы

Термин *биомасса* описывает широчайший спектр животных и растительных отходов. Дословно он означает «биологический материал». Биомасса — старейший источник энергии, используемый человечеством. Его возникновение относят ко времени овладения людьми огнем.

### ВИДЫ БИОМАССЫ И ТОПЛИВА ИЗ НЕЕ

Биомасса считается возобновляемым источником энергии, так как содержащаяся в ней энергия производится в процессе *фотосинтеза*,

---

<sup>1</sup> В России наиболее известным регионом с высоким потенциалом для геотермальной энергетики считается Камчатка. — *Прим. пер.*



когда растения преобразуют лучистую энергию солнца в *углеводороды*. Выращивание растений специально для превращения в биомассу, по сути, есть форма сохранения солнечной энергии.

При сгорании углеводороды выделяют тепло, двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ , так называемый «парниковый» газ) и воду. Двуокись углерода возвращается в окружающую среду и участвует в биохимическом углеродном цикле (круговороте углерода), способствуя росту других растений и восполнению сожженной биомассы. Таким образом, сжигание биомассы при правильной организации процесса не приводит к дополнительному загрязнению окружающей среды двуокисью углерода. Вода возвращается в природный гидроцикл (круговорот воды в природе). Тепло можно использовать для выработки электричества, а также для удовлетворения других энергетических потребностей человечества.

Некоторые виды биомассы — дерево, например, — можно просто сжигать, чтобы получить энергию биомассы. Однако существуют и технологии, позволяющие получать из дерева и других биологических материалов жидкие и газообразные виды топлива. Их можно использовать вместе (а возможно, в будущем и вместо) с бензином, дизельным топливом, метаном и пропаном. Основные виды сырья для получения электроэнергии из биомассы включают в себя следующее.

- **Деревья и травянистые растения.** Деревья и кустарники можно просто сжигать, получая тепло для котлов паровых турбин. Наиболее распространенный источник древесной биомассы — отходы деревообработки (лесопилок) и целлюлозно-бумажных комбинатов. Для производства энергии в основном используются специальным образом выращенные ивы, прутьевидное просо и слоновая трава.
- **Зерновые культуры и стерня зерновых.** Для выработки этанола применяется кукуруза. С той же целью (но в меньших масштабах) можно использовать и другие злаки — пшеницу, рожь и рис. В Бразилии этанол получают из сахарного тростника. Соевые бобы, арахис и подсолнечник также применяются для получения дизельного биотоплива. И этанол, и биодизель можно использовать как для производства электроэнергии, так и в качестве автомобильного горючего.
- **Водные и морские растения.** Подвергнув микроскопические водоросли, обитающие в некоторых озерах, ферментации, можно получить этанол. Их же можно компостировать для получе-



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

ния биогаза. Для этой же цели можно использовать обычные морские водоросли.

- **Навоз и сточные воды.** Бытовые отходы животных с ферм и ранчо, а также содержимое канализации населенных пунктов, можно добавлять в компостные кучи для того, чтобы ускорить выделение биогаза.
- **Свалки.** Различные виды мусора, в частности бумагу, картон, остатки еды, также можно перерабатывать в компост для получения биогаза.

### ПРИМЕР БИОГАЗА

В результате перегнивания (компостирования) растительных и животных отходов может образоваться горючий газ метан.

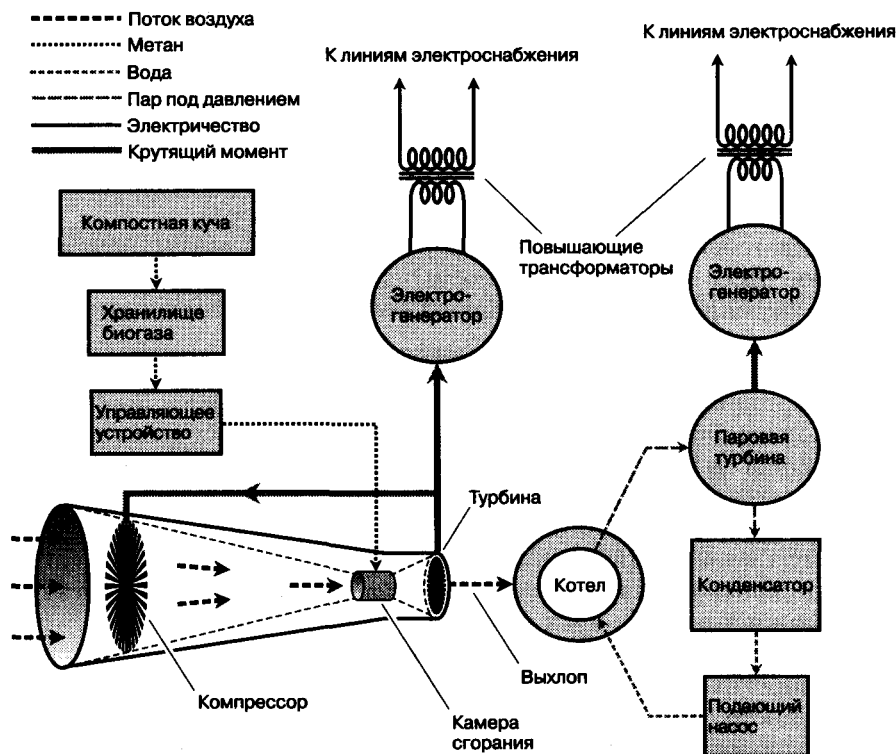


Рис. 13.3. Производство метана на компостных заводах из растительного сырья и животных отходов



Приходилось ли вам слышать о так называемом болотном газе, накапливающемся в заболоченных местах и время от времени возгорающемся? Это и есть природный биогаз. По сути, это тот же самый биогаз, который производят в коммерческих или частных целях для обогрева, электрификации или для использования в качестве топлива.

На рисунке 13.3 представлена графическая схема процесса производства метана из растительных и животных отходов в результате компостирования. На таких предприятиях производится метан как для электростанций, так и для других целей. На рисунке 13.4 представлена функциональная схема работы электростанции смешанного цикла (парогазовой) на метане, получаемом на месте путем компостирования биомассы.



**Рис. 13.4.** Упрощенная функциональная схема работы парогазовой электростанции (смешанного цикла) на метане, получаемом из биомассы на месте



### ПРЕИМУЩЕСТВА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА БИОМАССЕ

- Биомасса — возобновляемый источник энергии.
- При ответственной переработке биомассы в энергию двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ) не загрязняет атмосферу, поскольку новые растения в процессе роста поглощают всю двуокись углерода, выделяющуюся во время сжигания топлива.
- При использовании топлива, полученного из биомассы, выделяется незначительное количество загрязняющих атмосферу окислов серы (SO) даже в случае прямого сжигания этого топлива. В целом выделение окислов серы при использовании биотоплива любого вида ниже, чем при использовании традиционного природного топлива (угля, нефти, газа).
- Крупные электростанции на биотопливе способны работать непрерывно, в отличие от солнечных и ветряных электростанций, которые зависят от солнца и ветра соответственно.
- Метан можно производить на небольших компостных установках. Для его получения не обязательно использовать исключительно централизованные источники. Это способствует обеспечению энергобезопасности, так как позволяет рассредоточить энергетические ресурсы, что снижает риски от природных катастроф и воздействия «человеческого фактора».
- Некоторые растения — источники древесной биомассы (прутьевидное просо — сорго, в частности) способствуют снижению эрозии и формируют пригодную для обитания диких животных среду.

### НЕДОСТАТКИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА БИОМАССЕ

- Сжигание биомассы все же приводит к выбросу некоторого количества различных (в зависимости от типа используемой биомассы) загрязняющих атмосферу веществ. Наиболее распространены окислы азота (NO). При прямом сжигании древесины может выделяться значительное количество окислов углерода и пыли (дисперсных частиц).
- Бесконтрольная заготовка топлива из биомассы для электростанций наносит вред природе.
- Транспортировка биомассы к компостным заводам или топкам сопровождается потреблением энергии — обычно в форме природного топлива для грузовиков и поездов.
- Производство биогаза путем компостирования может сопровождаться неприятными запахами. Существуют также опасения, что без должного контроля этот процесс может привести к размножению и распространению болезнетворных микроорганизмов.



- Контейнеры, в которых хранится биогаз, требуют регулярных проверок и сертификации, проводимой квалифицированным и лицензированным персоналом. Это может быть неудобно и затратно, но является строжайшим условием эксплуатации таких контейнеров, обеспечивающим безопасность людей, живущих и работающих рядом с хранилищами биогаза.

### Задача 13.2

Можно ли получать биогаз из небольших компостных куч и использовать для электрификации отдельного здания или группы зданий?

### Решение 13.2

Биогаз можно получать из компостных куч буквально на заднем дворе и использовать для его хранения самодельные контейнеры. Этот биогаз можно применять в электрогенераторах, работающих на метане. Однако этот процесс может сопровождаться неприятным запахом. Есть и более существенные проблемы, касающиеся хранения метана — огнеопасного и взрывоопасного газа. Прежде чем закладывать такую систему, необходимо свериться с действующими правилами использования территорий и противопожарной безопасности. После строительства ее безопасность должен регулярно проверять квалифицированный сотрудник коммунальных служб.

## Малые электростанции на топливных элементах

Топливный элемент преобразует жидкое или газообразное горючее в полезное электричество при более низких, чем при обычном горении, температурах. На практике топливный элемент ведет себя как своего рода аккумулятор, который можно зарядить, заполнив горючим топливный резервуар или закачивая топливо из внешнего источника, если такого резервуара нет. В главе 8 вы познакомились с основами работы топливных элементов, а также с использованием топливных элементов в различных двигателях.

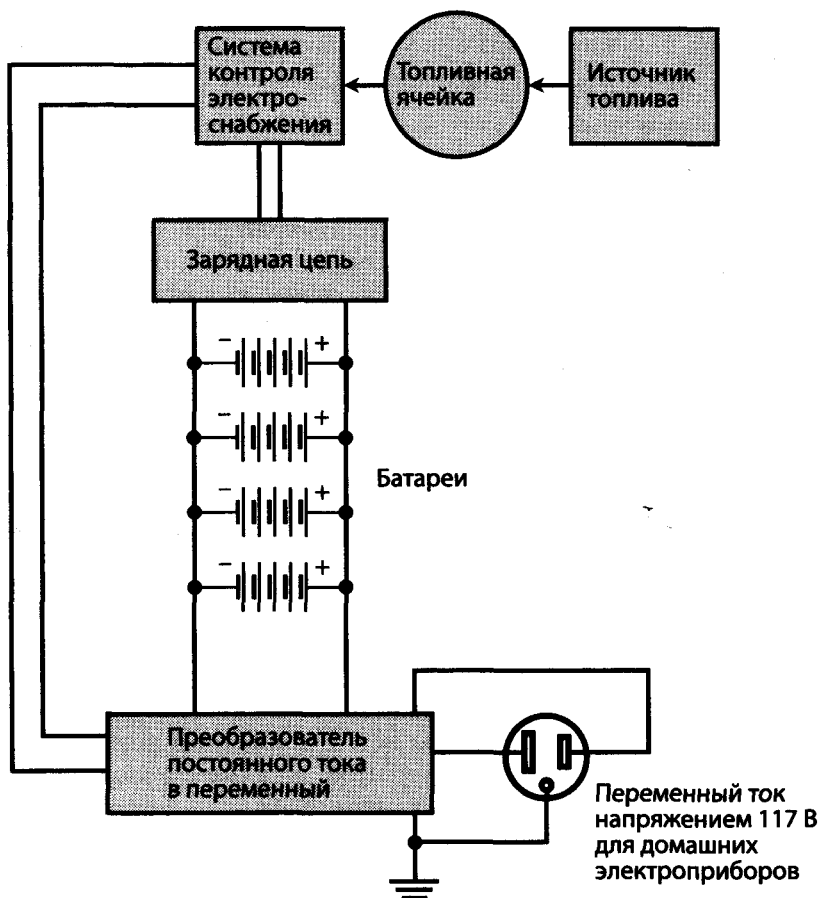
### КАК ЭТО РАБОТАЕТ

На рисунке 13.5 представлена упрощенная функциональная схема малой электростанции на топливных элементах. Она подходит для электрификации как дома, так и небольшого предприятия. Кроме того, ее можно использовать и в «домах на колесах» (жилых фургонах), и на небольших судах. В случае фиксированного расположения топливо для такой электростанции можно либо хранить на



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

месте, либо подкачивать по трубопроводу. Идеальным топливом для работы такой электростанции в домашних условиях считается обычный метан, так как он подается по уже существующим газораспределительным сетям и хранить его на месте необходимости нет. Однако в сельской местности и в других негазифицированных районах более эффективными и дешевыми могут оказаться другие виды топлива.



**Рис. 13.5.** Функциональная схема малой электростанции на топливных элементах, обеспечивающей электричеством жилой дом или небольшое предприятие

Типичный блок топливных элементов вырабатывает несколько вольт постоянного тока, что сопоставимо с характеристиками сол-



нечных батарей или автомобильного аккумулятора. Обычно постоянный ток поступает в преобразователь (усиливающий инвертор), на выходе которого получается переменный ток напряжением в 117 В. При желании можно установить запасной набор аккумуляторов для бесперебойной подачи электрического тока во время заправки резервуара топливом — система контроля электроснабжения переключает электрическую аппаратуру с топливной ячейки на аккумуляторную батарею и обратно, когда это необходимо. Постоянный ток, генерируемый топливной батареей и аккумулятором, можно использовать и напрямую, для низковольтных приборов — дуплексных радиостанций или ноутбуков.

### **ПРЕИМУЩЕСТВА МАЛЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

- Топливные элементы просты по своей природе, долговечны и редко требуют технического обслуживания и ремонта.
- Топливные элементы эффективнее, чем обычные генераторы, для мелкомасштабного обеспечения электроэнергией.
- Водород — наиболее предпочтительный источник энергии для топливных элементов — нетоксичен.
- При соблюдении правил эксплуатации водородный топливный элемент производит пренебрежимо малое количество загрязняющих атмосферу газов и не делает пылевых загрязнителей вовсе. Даже если топливом для топливного элемента служат более привычные метан или пропан, уровень загрязнения окружающей среды все равно ниже, чем при работе с традиционным генератором на двигателе внутреннего сгорания.
- Использование топливных ячеек позволяет избежать зависимости от импорта нефти.
- Производство водорода для топливных ячеек может — при наличии соответствующей инфраструктуры доставки и хранения — повысить запас топлива для обогрева.
- Действующие газопроводы можно использовать для подачи метана на электростанции с топливными элементами, применяющими этот газ.
- Некоторые виды топлива, подходящие для использования в топливных элементах, можно производить на небольших местных предприятиях.
- Иногда местные власти стимулируют применение альтернативной энергетики (включая топливные элементы) с помощью налоговых льгот и субсидий.





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### НЕДОСТАТКИ МАЛЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

- В некоторых районах обслуживание топливных элементов затруднительно из-за недостатка запчастей или опытных техников.
- Доставка и хранение топлива для водородных топливных элементов представляют собой главное технологическое препятствие широкому распространению малых электростанций такого типа, хотя это ограничение не касается жидких видов альтернативного топлива.
- Удельная энергия (энергоемкость) водорода по сравнению с другими видами топлива относительно низка. Это ограничение также не касается жидких видов альтернативного топлива.
- Водород чрезвычайно горюч и взрывоопасен. Это ограничение обычно не относится к жидким видам альтернативного топлива.
- Водородные топливные элементы достаточно дороги в эксплуатации, в основном из-за стоимости процессов, связанных с выделением свободного водорода из его природных форм. Жидкие виды альтернативного топлива, как правило, не имеют такого недостатка.
- Некоторые виды топлива, такие как дизельное или биодизель, в холодную погоду становятся более вязкими, что может вывести топливный элемент из строя.
- Другие виды топлива — метанол или бензин, например, — могут быть токсичны при прямом контакте.

### Задача 13.3

Можно ли модифицировать систему, подобную показанной на рис. 13.5, так, чтобы она могла использовать иные источники энергии — солнечные батареи, ветряные турбины или и то и другое? Как это можно сделать? Можно ли целиком обеспечить жилой дом электричеством за счет подобной системы, чтобы не зависеть от коммунальных электрических сетей?

### Решение 13.3

Это возможно, но дорого. Так, солнечная батарея или солнечная панель может заряжать аккумуляторы, пока стоит солнечная погода. Ветряная турбина может использоваться в качестве вспомогательного источника электроэнергии, работая ветреными ночами или облачными, но ветреными днями. Топливный элемент будет подключаться к системе, когда энергии ветра и солнца недостаточно для обеспечения электричеством дома или предприятия. Компьютерная систе-



ма управления энергообеспечением контролирует весь процесс, постоянно гарантируя наиболее эффективное использование энергии. Подобная гибридная система обеспечивает полную независимость от коммунальных электрических сетей, но для ее успешной работы необходимы разнообразные и изобильные источники энергии.

### АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

В завершение книги давайте пофантазируем. Некоторые ученые полагают, что полезную электроэнергию можно добывать из атмосферного электричества. Можно вернуться ко временам Бенджамина Франклина (и его менее везучих коллег)<sup>2</sup>, когда ученые поднимали электропровода высоко в воздух, чтобы продемонстрировать на опыте, что электричество накапливается в облаках. Что если воображаемая группа инженеров решит повторить этот эксперимент, но в гораздо большем масштабе?

### ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОНТУР

Земля — достаточно хороший *проводник электричества*. Верхний слой атмосферы — *ионосфера* — также хороший проводник. Нижний слой атмосферы обычно не проводит электричества, т. е. является *электрическим изолятором*. Изолятор, заключенный между двумя проводниками, называется *диэлектриком*, а в целом такая система становится *электрическим конденсатором*, способным накапливать электроэнергию, подобно *электрическому полю*. Гигантский размер позволяет назвать эту систему в целом *суперконденсатором*. *Земельно-ионосферный суперконденсатор* постоянно заряжается в одних регионах и разряжается в других, формируя систему, названную *глобальным электрическим контуром*. Если возможность черпать полезное электричество из атмосферы когда-либо реализуется на практике, мы получим *атмосферную электростанцию*.

---

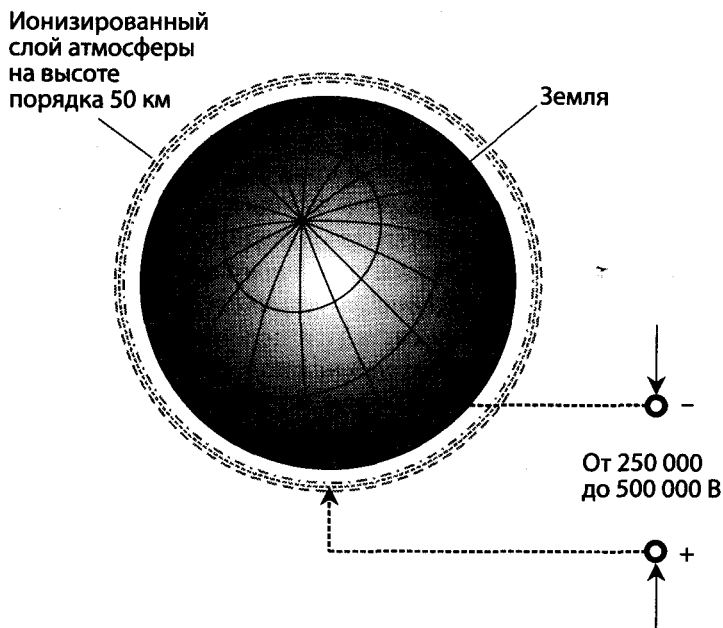
<sup>2</sup> Франклин Бенджамин (1706–1790) — американский ученый, журналист, издатель, дипломат и политический деятель. Один из лидеров Войны за независимость США. Первый американец, ставший иностранным членом Российской академии наук. Проводил опыты, направленные на изучение электрической природы молнии, запуская воздушного змея в грозу. Независимо от Франклина аналогичные опыты в это же время осуществлялись и в других странах. В частности, в 1753 году молнией был убит работавший в России над той же проблемой немецкий ученый Георг Рихман, соратник и друг М. В. Ломоносова, который и сам активно исследовал электричество. — Прим. пер.



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### СКОЛЬКО В АТМОСФЕРЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА?

Максимальный *уровень электростатического заряда* (количество заряженных частиц, таких как электрон), который может нести конденсатор, целиком зависит от трех факторов: общей площади проводящих поверхностей, среднего расстояния между ними и типа диэлектрика между ними. Земельно-ионосферный суперконденсатор представляет собой две проводящие сферы, заключенные одна в другую. Диэлектриком служит атмосферный воздух. Схематическое изображение этой системы вы видите на рис. 13.6. Радиус обеих этих сфер примерно одинаков и равен приблизительно 6500 км. В таком конденсаторе расстояние между двумя проводящими поверхностями (около 50 км) крайне незначительно по сравнению с площадью их поверхности (около 530 000 000 км<sup>2</sup>).



**Рис. 13.6.** Земля и верхние слои атмосферы являются суперконденсатором, постоянно подзаряжающимся за счет различных источников излучения

Высокая разность потенциалов между поверхностью Земли и ионосферой приводит к формированию мощного электрического поля в тропосфере и стратосфере. Заряд в этом суперконденсаторе



поддерживается за счет солнечного излучения, космических лучей, а также радиоактивности земной коры. Все эти излучения взаимодействуют с магнитным полем Земли и атомами в верхних слоях атмосферы, пополняя заряд суперконденсатора.

Грозовые облака, вулканы и пылевые бури повышают проводимость тропосферы и стратосферы в отдельных местах, создавая тем самым благоприятные условия для электрических разрядов земельно-ионосферного суперконденсатора. За время одной грозы, таким образом, в среднем по времени «разряжается» около двух ампер. Одновременно на нашей планете проходит примерно 750 гроз, сопровождающихся от 35 до 100 разрядами молний в секунду<sup>3</sup>. Сила тока в 2 А «на каждую грозу» может показаться слишком малой величиной, но это электричество распространяется не в виде постоянного потока заряженных частиц. Оно выделяется в виде резких интенсивных разрядов. Удар молнии длится доли секунды, так что пиковые значения силы тока в молнии чрезвычайно высоки. В некоторых случаях они могут достигать многих тысяч ампер. Поэтому молнии бывают настолько разрушительными.

Постоянный заряд атмосферного суперконденсатора составляет от 250 000 до 500 000 вольт, что сопоставимо с напряжением высоковольтных электрических линий. Однако разница электрических потенциалов поверхности Земли и атмосферы — это постоянный ток, а не переменный. Общее среднее значение силы тока, протекающего через атмосферный суперконденсатор, только в результате гроз составляет 1500 ампер (по два ампера на каждую из 750 гроз). Электрическая мощность в ваттах составляет произведение силы тока в амперах на напряжение в вольтах. Приведенные выше цифры означают, что земная атмосфера постоянно рассеивает несколько сотен миллионов ватт электроэнергии (в среднем). Этой мощности хватает на полное пиковое обеспечение электроэнергией среднего города.

### АТМОСФЕРНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Как могла бы выглядеть атмосферная электростанция? Один из возможных способов ее создания состоит в запуске в атмосферу группы высотных воздушных шаров, способных притягивать электричество. Эти шары соединяются электропроводами, которые также

---

<sup>3</sup> По другим источникам, на Земле одновременно проходит до полутора тысяч гроз, а средняя интенсивность разрядов составляет 46 молний в секунду. — *Прим. пер.*



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

закрепляют шары на земле в резервуарах, содержащих раствор воды и электролита (рис. 13.7). Если такой шар поднимется достаточно высоко, до нижних ионизированных слоев атмосферы, постоянный электрический ток потечет по проводу через растворенный электролит, что приведет к разложению воды на водород и кислород. Далее эти газы можно будет собрать так же, как в любом другом электролитическом устройстве. Водород можно использовать в качестве горючего для топливных элементов или для автомобилей на водородном топливе. Кислород можно применять в промышленных или медицинских целях.

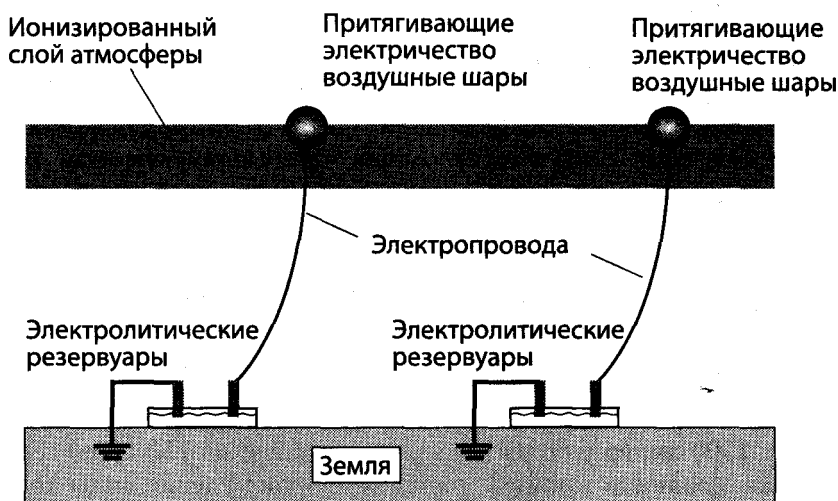


Рис. 13.7. Одна из моделей получения водородного топлива электролизом с помощью атмосферного электричества

### ПРЕИМУЩЕСТВА АТМОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

- Земельно-ионосферный суперконденсатор постоянно подзаряжается с помощью возобновляемых источников энергии — солнца и радиоактивных элементов земной коры.
- Атмосферная электростанция не выбрасывает в окружающую среду никаких загрязнителей.
- Оборудование атмосферных станций не бросается в глаза. Воздушные шары находятся слишком высоко для того, чтобы их увидеть невооруженным глазом. Для этого понадобится телескоп или бинокль.



- Атмосферная электростанция способна вырабатывать энергию постоянно, если поддерживать шары в воздухе.

### **НЕДОСТАТКИ АТМОСФЕРНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

- Атмосферное электричество, как и энергию солнца или ветра, трудно запастись. Его необходимо либо использовать сразу же, на месте получения, либо преобразовывать в любую другую форму, например в водород.
- Значительная разрядка земельно-ионосферного суперконденсатора может нарушить баланс глобального электрического контура. В этом случае последствия для окружающей среды будут непредсказуемы.
- Высокое напряжение в системах атмосферных электростанций может быть опасным для обслуживающего персонала.
- Воздушные шары необходимого размера сложно обслуживать и поддерживать на необходимой высоте. Кроме того, они могут представлять опасность для авиации.
- Общее количество электроэнергии, которую можно получать из атмосферы, ограничено. В лучшем случае атмосферная энергетика может служить лишь незначительным дополнением к другим источникам энергии.

### **Задача 13.4**

Что произойдет, если воздушный шар вместе с проводом попадет в сильную грозу (не говоря об урагане или торнадо), как показано на рис. 13.8?

### **Решение 13.4**

Параметры тока, протекающего по проводу в резервуары с электролитом, вероятнее всего, изменятся вследствие локальных грозových электрических зарядов. Под действием турбулентных потоков воздуха провод будет испытывать серьезное механическое напряжение. Если он порвется, то его часть упадет на землю в районе «электростанции», а та, что привязана к воздушному шару, опустится на землю вместе с ним где-то далеко. Это может привести к значительным разрушениям.

Если атмосферная электростанция когда-либо будет построена, то наиболее вероятным местом ее расположения окажется некий островок в океане, а воздушные шары будут крепиться к земле двумя-тремя проводами. Так что не стоит пытаться соорудить подобную электростанцию дома.

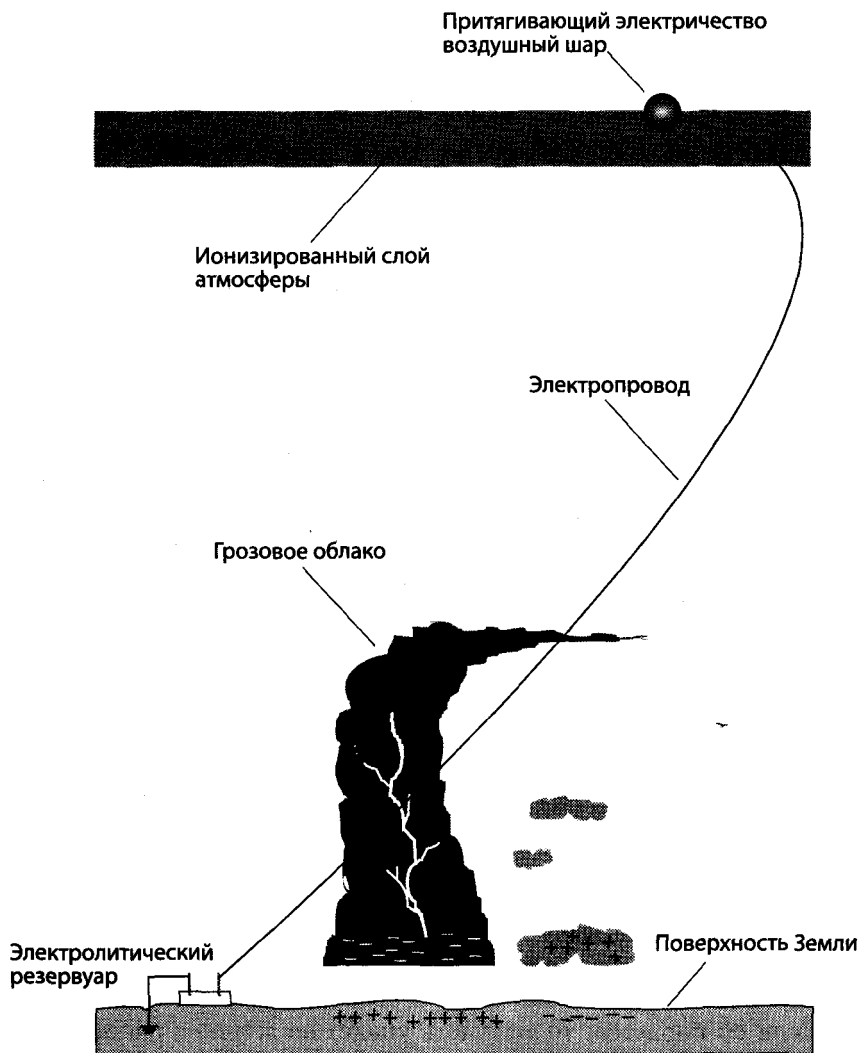


Рис. 13.8. Что произойдет, если притягивающий электричество воздушный шар попадет в грозу?

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Отвечая на эти вопросы, вы можете пользоваться текстом книги. Восемь правильных ответов — хороший результат. Ответы помещены в конце книги.



1. Что из перечисленного ниже не является хорошим источником для топлива из биомассы?
  - (а) микроскопические водоросли;
  - (б) кукуруза;
  - (в) песок;
  - (г) сахарный тростник.
2. Разница потенциалов между поверхностью Земли и ионизированными слоями атмосферы (в целях производства электричества на атмосферных электростанциях) составляет порядка:
  - (а) нескольких вольт;
  - (б) нескольких сотен вольт;
  - (в) нескольких тысяч вольт;
  - (г) нескольких сотен тысяч вольт.
3. Насколько глубокими должны быть скважины для эффективной работы обычной геотермальной электростанции?
  - (а) достаточно глубокой для того, чтобы достичь активно кипящих подземных вод;
  - (б) достаточно глубокой для того, чтобы температура земной коры достигла или превысила точку кипения воды;
  - (в) достаточно глубокой для того, чтобы достичь свободной магмы;
  - (г) достаточно глубокой для того, чтобы достичь пара, поднимающегося к поверхности Земли под собственным давлением.
4. Гроза производит (в среднем по времени) электрический ток, примерно сравнимый с тем, что потребляет 250-ваттная электролампа из электросети. Однако пиковые значения силы тока в разряде молнии гораздо выше. Почему?
  - (а) разница потенциалов между грозовым облаком и поверхностью Земли гораздо выше, чем напряжение в электросети;
  - (б) отдельные разряды молнии прерывисты и кратковременны, а не постоянны, как разряды, проходящие через лампу;
  - (в) земельно-ионосферный конденсатор содержит гораздо более высокий заряд, чем может произвести любой генератор;
  - (г) по всем вышеперечисленным причинам.
5. Уровень электростатического заряда, который может нести конденсатор, зависит от всего перечисленного ниже, *кроме*:
  - (а) разницы потенциалов между двумя проводящими поверхностями;





## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

- (б) общей поверхности двух проводящих пластин (слоев);
  - (в) природы материала между двумя проводящими поверхностями;
  - (г) среднего расстояния между двумя проводящими поверхностями.
6. Предположим, температура почвы у поверхности Земли составляет 20 °С. Насколько глубокой должна быть скважина, для того чтобы достичь точки кипения воды?
- (а) 286 м;
  - (б) 350 м;
  - (в) 2,86 км;
  - (г) 3,5 км.
7. В обычной геотермальной электростанции нагнетательная скважина:
- (а) служит для закачивания воды в земную кору, где вода нагревается;
  - (б) позволяет перегретой магме подняться к поверхности Земли;
  - (в) позволяет пару подняться к поверхности Земли;
  - (г) рассеивает избыточное тепло, возникающее в процессе производства энергии.
8. Что из перечисленного ниже не подходит в качестве источника энергии в тепловых элементах?
- (а) метанол;
  - (б) водород;
  - (в) гелий;
  - (г) метан.
9. Набор топливных элементов (не один топливный элемент) производит электричество почти того же напряжения, что:
- (а) большой электрогенератор;
  - (б) имеется в бытовой розетке;
  - (в) батарейка карманного фонарика;
  - (г) автомобильный аккумулятор.
10. В паротермальной электростанции:
- (а) нет необходимости в котле;
  - (б) пар закачивается через нагнетательную скважину;
  - (в) по пути вниз по нагнетательной скважине пар вращает лопасти турбины;
  - (г) происходит все вышеперечисленное.

## Заключительный экзамен

При ответах на вопросы итогового теста не пользуйтесь текстом книги. Хороший результат — не менее 75% правильных ответов. Попросите, чтобы кто-нибудь проверил ваши ответы, когда вы проходите тест впервые, — так вы не сможете заучить правильные ответы, если пожелаете пройти тест вторично.

1. В пассивных системах обогрева на солнечной энергии длинноволновое ИК-излучение:
  - (а) вместе с солнечным светом проникает в окна сквозь стекло и преобразуется в коротковолновое ИК-излучение путем поглощения его стенами и мебелью, выкрашенными в светлые тона;
  - (б) вместе с солнечным светом проникает в окна сквозь стекло и полностью поглощается стенами и мебелью, выкрашенными в светлые тона;
  - (в) способствует обогреву комнаты, так как оно испускается окрашенными в темные тона объектами, поскольку оконное стекло для него менее прозрачно;
  - (г) испускается окрашенными в темные цвета объектами в комнате, легко проникает наружу через оконное стекло, где пропадает навсегда, независимо от времени суток;
  - (д) может нагреть окна до столь высоких температур, что в холодную погоду стекло может лопнуть, если не установить двойные или тройные стеклопакеты.
2. Коэффициент GGE пропана равен примерно 1,5. Это означает, что:
  - (а) при сгорании 1 галлона бензина выделяется приблизительно в 1,5 раза больше энергии, чем при сгорании 1 галлона пропана;
  - (б) при сгорании 1 галлона пропана выделяется приблизительно в 1,5 раза больше энергии, чем при сгорании 1 галлона бензина;



## Заключительный экзамен

- (в) 1 галлон бензина весит приблизительно в 1,5 раза больше, чем 1 галлон пропана;
  - (г) 1 галлон пропана весит приблизительно в 1,5 раза больше, чем 1 галлон бензина;
  - (д) ничего из вышеперечисленного.
3. Большая дровяная печь в нормальных условиях может иметь мощность порядка:
- (а) 150 БТЕ/ч;
  - (б) 1500 БТЕ/ч;
  - (в)  $1,5 \times 10^4$  БТЕ/ч;
  - (г)  $1,5 \times 10^5$  БТЕ/ч;
  - (д)  $1,5 \times 10^6$  БТЕ/ч.
4. Показатель производительности ветряной турбины — это:
- (а) отношение выходной мощности ветряной турбины к фактической силе ветра;
  - (б) отношение фактической силы ветра к выходной мощности турбины;
  - (в) период полезного времени эксплуатации ветра для получения электричества в данной местности;
  - (г) функция, определяющая соотношение силы ветра и скорости ветра в метрах в секунду;
  - (д) отношение максимальной скорости ветра (в узлах), при которой турбина будет функционировать нормально, к минимальной скорости ветра (в узлах), при которой турбина будет функционировать нормально.
5. На рисунке «Тест-1» изображена функциональная схема:
- (а) теплового насоса «воздух—воздух»;
  - (б) осушителя воздуха;
  - (в) испарительной системы охлаждения;
  - (г) активной электролитической системы охлаждения;
  - (д) пассивной электролитической системы охлаждения.
6. Какое вещество помечено символом «X» на рис. «Тест-1»?
- (а) хладагент;
  - (б) этанол;
  - (в) метанол;
  - (г) пропан;
  - (д) вода.

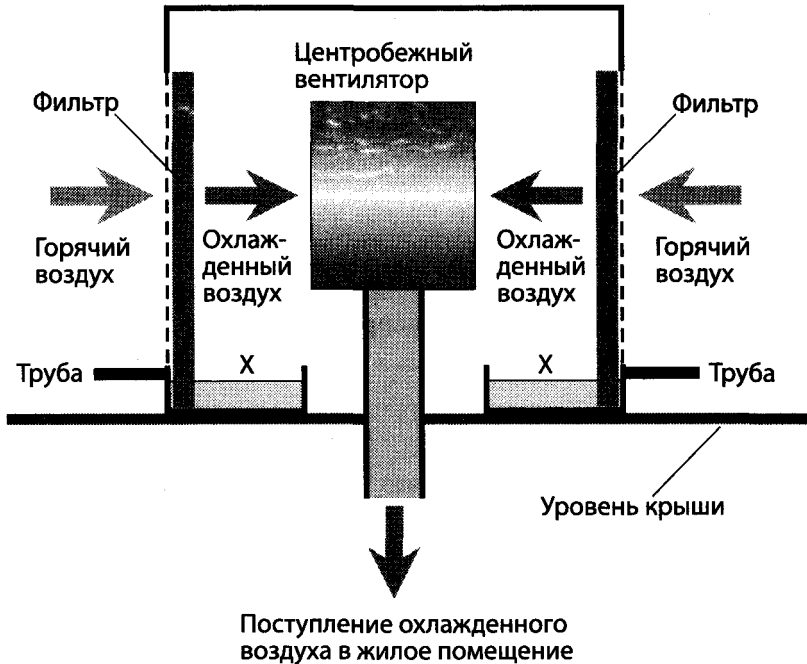


Рис. «Тест-1». Диаграмма к вопросам 5 и 6

7. Подставьте нужный термин в предложение: «Когда тепловой насос “воздух–воздух” работает в режиме кондиционирования, уличный воздух служит \_\_\_\_\_».
  - (а) источником тепла;
  - (б) компрессором;
  - (в) хладагентом на основе фторуглерода;
  - (г) конденсатором;
  - (д) поглотителем тепла.
8. Потенциальная энергия, которой обладает заданный объем воды (допустим, 10 л) в резервуаре плотины, выражается в:
  - (а) метрах в секунду;
  - (б) метрах в секунду за секунду ( $\text{м/с}^2$ );
  - (в) килограмм-метрах;
  - (г) Ньютон-метрах;
  - (д) Ньютонах.



## Заключительный экзамен

9. Какое из перечисленных ниже технологических решений доказало свою эффективность для сохранения электроэнергии, вырабатываемой *ветропарками* для последующего использования?
- (а) компостирование;
  - (б) накопительные батареи;
  - (в) ультраконденсаторы;
  - (г) земляные (блуждающие) токи;
  - (д) ни одно из названных.
10. Подставьте нужный термин в предложение: «В холодных районах, таких как Миннесота, например, бензин для использования в зимнее время \_\_\_\_\_, чем бензин для использования в летнее».
- (а) более летуч;
  - (б) более жидкий;
  - (в) содержит больше угля;
  - (г) более маслянистый;
  - (д) содержит больше сахара.
11. Приливные турбины меньше по размеру, чем ветряные, производящие одинаковый объем электричества, потому что:
- (а) скорость океанических течений обычно медленнее, чем скорость ветра;
  - (б) вода плотнее воздуха и оказывает большее давление на единицу площади;
  - (в) океанические течения, как правило, не меняют направления, в то время как направление ветра меняется;
  - (г) скорость океанических течений, как правило, постоянна, в то время как скорость ветра меняется;
  - (д) приливные турбины, напротив, больше ветряных.
12. Солнечная панель на кремниевых фотоэлементах производит:
- (а) выходное напряжение, на прямом солнечном свете примерно равное 0,5 В;
  - (б) максимальную силу тока, на прямом солнечном свете примерно равную 2 А;
  - (в) максимальную мощность, на прямом солнечном свете примерно равную 1 Вт;
  - (г) переменный или постоянный ток, в зависимости от того, как подсоединены друг к другу фотоэлементы;
  - (д) выходное напряжение, силу тока и мощность, значение которых зависит от нескольких факторов.



13. Что их перечисленного является серьезным ограничением *высоковольтных* фотоэлектрических систем?  
(а) фотоэлементы содержат кадмий — тяжелый токсичный металл. Со временем этот материал «вытекает» из фотоэлементов, заражая землю и воду;  
(б) электроэнергию, производимую фотоэлектрической системой, сложно запастись в больших количествах;  
(в) солнечные фермы испускают токсичный газ диоксид кремния под долговременным воздействием прямого солнечного света;  
(г) энергия солнца — невозобновляемый источник энергии;  
(д) ничего из названного.
14. В современных печах на солярке процесс горения предусматривает:  
(а) распыление солярки и смешивание ее микрокапель с водяным паром;  
(б) распыление солярки и смешивание ее микрокапель с воздухом;  
(в) распыление солярки и смешивание ее микрокапель с метаном;  
(г) распыление солярки и смешивание ее микрокапель с пропаном;  
(д) непосредственное сжигание солярки в бункере топки.
15. Электростанция закачивает горячую воду в перегретые породы земной коры. Затем вода поднимается к поверхности земли, превращаясь по пути в пар. Этот пар приводит в движение турбину, которая производит электричество. Электростанция какого типа имеется в виду?  
(а) геотермальная электростанция бинарного типа;  
(б) геотермальная электростанция на охладителе;  
(в) обычная геотермальная электростанция;  
(г) паротермальная электростанция;  
(д) многоцелевая геотермальная электростанция.
16. Какой эффект оказывает сверхпроводник на линии магнитной индукции?  
(а) рассеивания;  
(б) стягивания;  
(в) искривления;  
(г) отражения;  
(д) никакого эффекта.



## Заключительный экзамен

17. Для достижения эффекта магнитной левитации при помощи набора постоянных магнитов:
- (а) некоторые из них должны двигаться или вращаться относительно остальных;
  - (б) все они должны быть неподвижны друг относительно друга;
  - (в) некоторые из них должны быть сориентированы в вертикальной плоскости;
  - (г) все они должны быть сориентированы под правильными углами;
  - (д) некоторые из них должны быть сориентированы в горизонтальной плоскости.
18. Геотермальная электростанция какого типа может работать в районах, где породы земной коры разогреты недостаточно для функционирования обычных геотермальных или паротермальных электростанций?
- (а) геотермальная электростанция на сухом льду;
  - (б) геотермальная электростанция с одной скважиной;
  - (в) геотермальная электростанция обратного осмоса;
  - (г) геотермальная электростанция бинарного цикла;
  - (д) магматическая геотермальная электростанция.
19. Какую электростанцию можно использовать для опреснения морской воды?
- (а) ветроэлектростанцию;
  - (б) солнечную электростанцию;
  - (в) обычную геотермальную электростанцию;
  - (г) метановую смешанного цикла;
  - (д) гидроэлектростанцию.
20. Британская тепловая единица (БТЕ/ВТУ) — единица измерения:
- (а) энергии;
  - (б) теплоты;
  - (в) мощности;
  - (г) крутящего момента;
  - (д) электрического заряда.
21. Типичный электромобиль использует энергию:
- (а) водородной батареи;
  - (б) свинцового аккумулятора;



- (в) ртутного аккумулятора;
  - (г) щелочного аккумулятора;
  - (д) азотного аккумулятора.
22. Возьмем три атома водорода. Ядро первого атома состоит из единственного протона. Ядро второго — из одного протона и одного нейтрона. Ядро третьего — из одного протона и двух нейтронов. Эти три атома являются разными:
- (а) ионами водорода;
  - (б) фазами водорода;
  - (в) атомными номерами водорода;
  - (г) элементами водорода;
  - (д) изотопами водорода.
23. Атом водорода, ядро которого состоит из одного протона и двух нейтронов, называется:
- (а) дилитий;
  - (б) дейтерий;
  - (в) тритий;
  - (г) трилитий;
  - (д) нейтрит.
24. Главной причиной выгорания мебели и ковров при использовании пассивной системы обогрева на солнечной энергии в домах с большими окнами, направленными на юг, является:
- (а) УФ-излучение;
  - (б) видимый свет;
  - (в) коротковолновое ИК-излучение;
  - (г) длинноволновое ИК-излучение;
  - (д) потери тепловой энергии в темное время суток.
25. Геотермальная электростанция может остановиться из-за:
- (а) закачки соленой, а не пресной воды в земную кору;
  - (б) чрезмерного количества закачанной в земную кору воды в одном месте;
  - (в) близкого извержения вулкана, в результате которого высвобождается весь подземный жар и давление магмы;
  - (г) завершения периода полураспада радиоактивных материалов под землей, в результате чего истощается источник внутреннего разогрева земной коры;
  - (д) геотермальная электростанция вообще не может остановиться.





## Заключительный экзамен

26. На рисунке «Тест-2» изображена функциональная схема:

- (а) автомобиля на топливных элементах;
- (б) электромобиля;
- (в) гибридного электромобиля;
- (г) автомобиля на солнечных батареях;
- (д) ничего из названного.

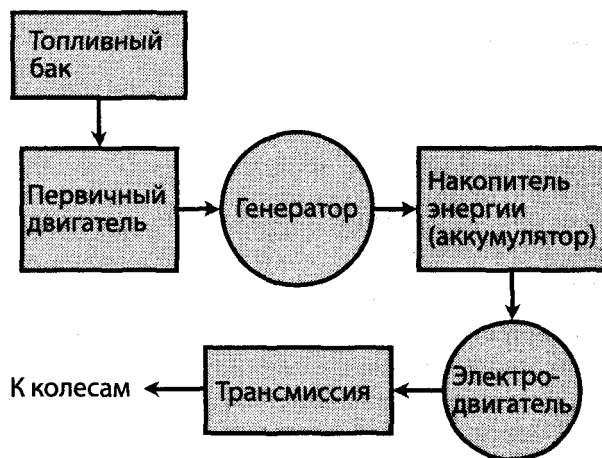


Рис. «Тест-2». Диаграмма к вопросу 26

27. Подставьте нужный термин в предложение: «\_\_\_\_\_ химического элемента примерно равен сумме протонов и нейтронов в его ядре».

- (а) атомный вес;
- (б) атомный номер;
- (в) изотопный номер;
- (г) критическая масса;
- (д) номер токамака.

28. Реактивный авиационный двигатель создает прямую тягу:

- (а) только в том случае, если скорость выхлопных газов выше, чем воздушная скорость всей конструкции;
- (б) только в том случае, если скорость выхлопных газов выше скорости звука;
- (в) вне зависимости от скорости выхлопных газов;
- (г) только на определенной высоте и выше;



- (д) только после достижения определенной воздушной скорости всей конструкции.
29. При добавлении к бензину этанол:
- (а) увеличивает пробег;
  - (б) увеличивает октановое число;
  - (в) снижает качество работы двигателя;
  - (г) вызывает рост выбросов угарного газа;
  - (д) вызывает рост пылевых выбросов.
30. Магнитное удержание — технология, опробованная на прототипах:
- (а) электростатических генераторов энергии;
  - (б) термоядерных генераторов энергии;
  - (в) ионосферных генераторов энергии;
  - (г) электролитических генераторов энергии;
  - (д) геомагнитных генераторов энергии.
31. Теоретический верхний предел скорости ионной ракеты в открытом космосе составляет:
- (а) меньше, чем теоретический верхний предел скорости обычной ракеты в открытом космосе;
  - (б) величину, равную скорости истечения частиц из двигателя;
  - (в) величину, примерно равную второй космической скорости (скорости, необходимой для преодоления земного притяжения);
  - (г) величину, примерно равную первой космической скорости (скорости, необходимой для вывода космического корабля на земную орбиту);
  - (д) ничего из названного.
32. В газотурбинном электрогенераторе, работающем на нефти, сама турбина приводится в движение:
- (а) выхлопом из камеры сгорания котла;
  - (б) горячей водой из котла;
  - (в) паром из котла;
  - (г) водой, закачиваемой из реки, озера или океана;
  - (д) нефтью под давлением из топливного насоса.
33. При применении системы воздушного отопления количество пыли в доме можно уменьшить:
- (а) используя внутренний воздухозаборник, расположенный внутри дома, вместо внешнего, находящегося на улице;



## Заключительный экзамен

- (б) используя внешний воздухозаборник, расположенный на улице, вместо внутреннего, находящегося дома;
  - (в) постоянно используя вентилятор;
  - (г) открыв все двери внутри дома для оптимальной циркуляции воздуха;
  - (д) используя влагопоглотитель.
34. Твердое ракетное топливо для моделей ракет очень похоже на:
- (а) парафин;
  - (б) лед;
  - (в) сухой (замороженный) кислород;
  - (г) сухой (замороженный) водород;
  - (д) оружейный порох.
35. Что из перечисленного ниже является серьезным конструкционным недостатком дома на холме?
- (а) такая конструкция не может обеспечить достаточного тепла зимой;
  - (б) она работает только на северных склонах;
  - (в) конструкция крыши может привести к инцидентам, способным вызвать материальные иски;
  - (г) в холодную погоду излишки тепла уходят в почву;
  - (д) все вышеперечисленное.
36. Отходы жизнедеятельности животных можно добавлять в компостные кучи для получения топлива, которое называется:
- (а) диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ );
  - (б) окислы азота ( $\text{NO}_x$ );
  - (в) биогаз;
  - (г) уран-235 (U-235);
  - (д) дизельное топливо.
37. Темно-серый прямоугольник, помеченный знаком «X» на рис. «Тест-3», изображает:
- (а) компрессор для жидкого хладагента;
  - (б) теплообменник;
  - (в) стабилизатор напряжения;
  - (г) сетевой фильтр;
  - (д) термостат с блоком электропитания.



К системе воздуховодов

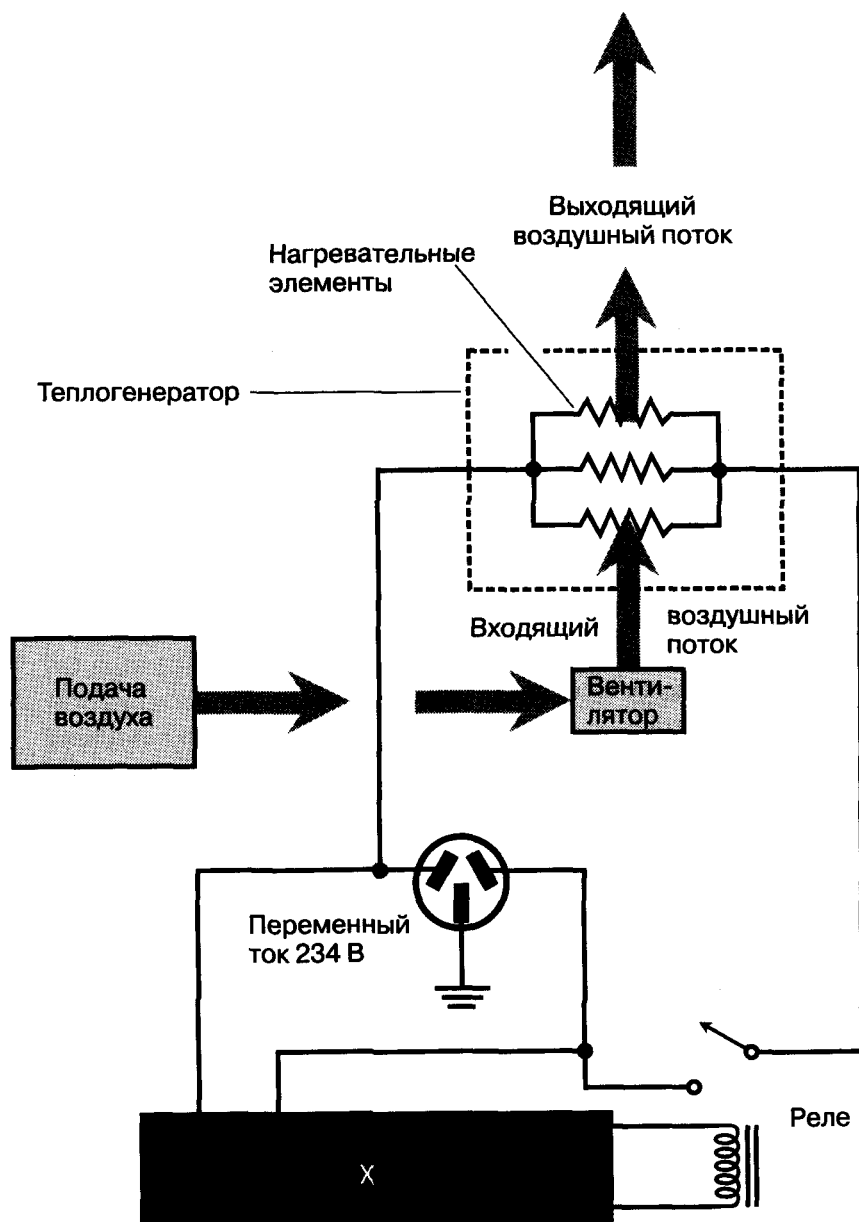


Рис. «Тест-3». Диаграмма к вопросу 37



## Заключительный экзамен

38. Значения, установленные для стандартных температуры и давления, определяются как:
- (а) точка кипения воды и атмосферное давление на уровне моря;
  - (б) точка кипения воды и атмосферное давление на вершине Эвереста;
  - (г) точка заморзания воды и атмосферное давление на уровне моря;
  - (д) точка заморзания воды и атмосферное давление на вершине Эвереста;
  - (е) точка абсолютного нуля и атмосферное давление на уровне моря.
39. Подставьте нужный термин в предложение: «В конечном счете, содержащаяся в биомассе энергия вырабатывается в процессе \_\_\_\_\_, когда растения преобразуют лучистую энергию солнца в углеводороды».
- (а) ферментации;
  - (б) термической конверсии;
  - (в) электролиза;
  - (г) фотоэлектрического преобразования;
  - (д) фотосинтеза.
40. Метан, получаемый в результате управляемого компостирования органических материалов, называется:
- (а) газохол;
  - (б) болотный газ;
  - (в) топливный газ;
  - (г) биогаз;
  - (д) гидрогаз.
41. Подставьте нужный термин в предложение: «Когда-нибудь \_\_\_\_\_ сможет заменить метан в качестве источника топлива, если будут разработаны эффективные и недорогие способы его извлечения из природного сырья, а также надежные и безопасные способы его транспортировки».
- (а) водород;
  - (б) пропан;



- (в) этанол;
- (г) гелий;
- (д) двуокись углерода.

42. Ветряные турбины для личного пользования редко встречаются в городах и пригородах, так как:

- (а) они производят шум, а некоторых раздражает их вид;
- (б) они убивают птиц;
- (в) в городах и пригородах недостаточно ветра;
- (г) коммунальные службы не разрешают возводить ветряные турбины в городах, которые они обслуживают;
- (д) они притягивают молнии, которые могут вызвать пожар в городе.

43. На деривационных гидроэлектростанциях:

- (а) кинетическая энергия движущейся воды преобразуется в тепловую, которая разогревает воду, превращая ее в пар; пар, в свою очередь, приводит в движение паровую турбину;
- (б) часть реки отводится через канал или трубопровод, и этот поток приводит в движение водяную турбину;
- (в) вода накапливается в большом резервуаре за плотиной, а затем выпускается через напорные водоводы, приводя в движение водяные турбины;
- (г) на разной высоте расположено несколько резервуаров, и вода попеременно закачивается и выпускается из них с помощью насосов и напорных водоводов;
- (д) энергия океанических валов «заключается» в закрытую камеру, где периодическое изменение уровня воды вызывает движение воздуха через газовую турбину.

44. На рисунке «Тест-4» изображена упрощенная функциональная схема ядерного реактора силовой установки океанического корабля. Какой узел обозначен эллипсом с символом «Х»?

- (а) аккумулятор;
- (б) турбина;
- (в) дистиллятор;
- (г) радиатор;
- (д) мотор.



## Заключительный экзамен

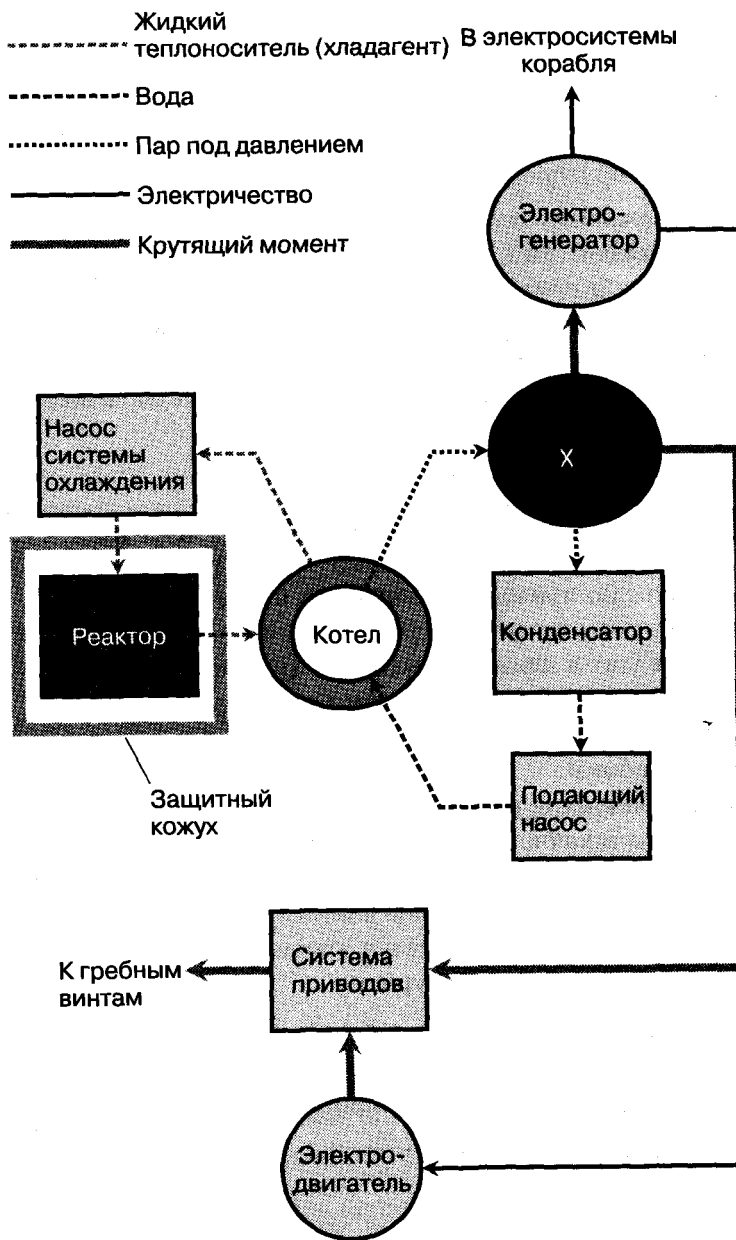


Рис. «Тест-4». Диаграмма к вопросу 44



45. Аккумулятор какого типа обеспечивает электрический ток для зажигания в обычном автомобиле?
  - (а) никель-металлгидридный (NiMH);
  - (б) щелочной;
  - (в) свинцовый;
  - (г) ртутный;
  - (д) водородный.
46. Большинство малых аккумулирующих интерактивных ветряных систем позволяют:
  - (а) постоянно продавать коммунальным компаниям электроэнергию;
  - (б) продавать коммунальным компаниям излишки электричества, выработанного турбиной;
  - (в) продавать коммунальным компаниям электричество во время разрядки аккумуляторов;
  - (г) продавать коммунальным компаниям электричество, если это позволяет местное законодательство;
  - (д) покупать электричество у коммунальных компаний, а не продавать его им.
47. Составляющие компоненты хладагента обладают высокой (-ким/-кими):
  - (а) теплотой парообразования;
  - (б) точками таяния и замерзания;
  - (в) точками кипения и конденсации;
  - (г) значениями энтропии;
  - (д) электрическим сопротивлением.
48. Прежде чем отправить в топку угольной электростанции уголь из загрузочного бункера, его нужно:
  - (а) измельчить и смешать с бензином;
  - (б) измельчить и смешать с водой;
  - (в) измельчить и смешать с воздухом;
  - (г) измельчить и смешать с метаном;
  - (д) спрессовать в большие брикеты.
49. Какое горючее, использующееся для обогрева жилых домов, наиболее взрывоопасно?
  - (а) нефть;
  - (б) пропан;





## Заключительный экзамен

- (в) бутан;
  - (г) уголь;
  - (д) метан.
50. Что из перечисленного ниже является преимуществом «теплых полов» с использованием метана для нагрева воды?
- (а) смертельно опасный угарный газ ( $\text{CO}$ ) в случае аварии топки распространяется медленно;
  - (б) это закрытая система, так как вода в ней теоретически может рециркулировать вечно;
  - (в) она не пропускает в дом пыль;
  - (г) нагревательные спирали (змеевики) физически находятся вне комнат;
  - (д) все названное.
51. Какие из перечисленных ниже свойств или мер, применяемых при использовании пассивного обогрева на солнечной энергии, помогают сохранять внутри здания примерно постоянную температуру, невзирая на кратковременные изменения потребляемой солнечной энергии?
- (а) тепловая инерция цементных полов и стен;
  - (б) способность длинноволнового излучения легко проникать через оконное стекло;
  - (в) использование строительных материалов с наименьшей массой;
  - (г) большое количество окон на северной стороне;
  - (д) все названное.
52. Продуманное использование биомассы не приводит к увеличению загрязнения окружающей среды так называемым «парниковым» газом ( $\text{CO}_2$ ). Почему?
- (а)  $\text{CO}_2$ , выделяющийся при сгорании биомассы, соединяется с водородом, образуя углеводороды и воду;
  - (б)  $\text{CO}_2$ , выделяющийся при сгорании биомассы, участвует в биохимическом углеродном цикле, способствуя росту новых растений, замещающих сожженные;
  - (в)  $\text{CO}_2$ , выделяющийся при сгорании биомассы, рассеивается в открытом космосе;
  - (г)  $\text{CO}_2$ , выделяющийся при сгорании биомассы, можно подвергнуть электролизу и получить уголь для отопления и кислород для медицинских целей;



(д) напротив, биомасса не может не загрязнять окружающую среду.

53. Когда несколько идентичных кремниевых фотоэлементов подсоединяются последовательно, образуя фотоэлектрический модуль, его максимальное выходное напряжение без учета внутреннего сопротивления равно:

- (а) максимальному выходному напряжению любого одного фотоэлемента;
- (б) произведению максимального выходного напряжения любого одного фотоэлемента на квадратный корень из общего количества фотоэлементов в модуле;
- (в) произведению максимального выходного напряжения любого одного фотоэлемента на общее количество фотоэлементов в модуле;
- (г) произведению максимального выходного напряжения любого одного фотоэлемента на квадрат общего количества фотоэлементов в модуле;
- (д) ничему из названного.

54. Углеродные нанотрубки предложены как технология:

- (а) повышения эффективности электролиза воды;
- (б) производства метана для использования в системах обогрева жилых домов;
- (в) хранения водорода для использования в качестве горючего для двигателей автомобилей;
- (г) сохранения электроэнергии, вырабатываемой солнечными панелями, ветряными и водяными турбинами;
- (д) сохранения и высвобождения электроэнергии в процессе регенеративного торможения.

55. Что из перечисленного ниже является существенным недостатком установленных на крыше плоско-панельных (плоскопластинчатых) коллекторов для нагрева воды или обогрева дома за счет солнечной энергии?

- (а) их нельзя использовать в качестве хладагентов, так как эта жидкость в холодную погоду замерзает;
- (б) град или намерзший лед могут их повредить или разрушить, их надо очищать от снега для нормальной работы;
- (в) на далеких от экватора широтах они не работают, так как солнечное освещение там недостаточно интенсивное;



## Заключительный экзамен

- (г) под ярким солнечным светом они вырабатывают излишки электричества, что может нанести вред накопительным аккумуляторам;
- (д) если одна часть коллектора попадает в тень, а другая часть находится на ярком солнце, другие части панели могут быть повреждены излишним током.
56. На рисунке «Тест-5» изображена дровяная печь в разрезе. Какую функцию выполняет деталь, обозначенная символом «Х»?
- (а) она позволяет контролировать работу каталитического конвертера;
- (б) она позволяет контролировать скорость горения дров;
- (в) она предотвращает взрывы в случае нижней тяги в дымовой трубе;

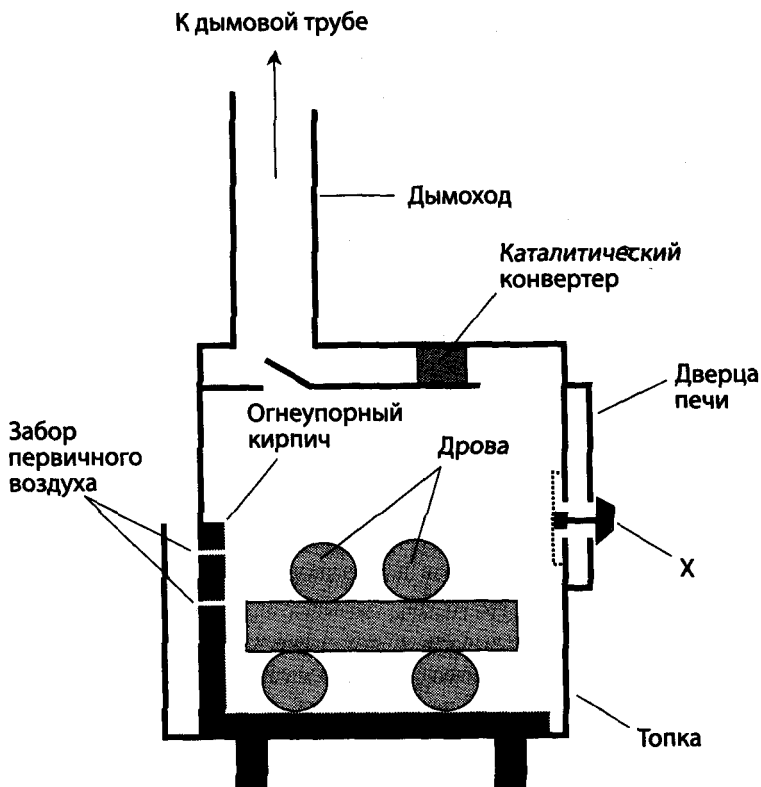


Рис. «Тест-5». Диаграмма к вопросу 56



- (г) она предотвращает потери тепла из топки в случае нежелательной конвекции;  
 (д) она позволяет излишнему воздуху выходить из топки.
57. Для чего подключенный к домашней электрической сети автономный бензиновый генератор оснащен двухполюсным изолирующим выключателем на два направления?
- (а) он предотвращает возникновение обратного тока в сети;  
 (б) он поддерживает синфазность генератора с сетевым переменным током;  
 (в) он поддерживает постоянное напряжение в генераторе;  
 (г) он позволяет подключать генератор к чувствительным электроприборам;  
 (д) нонсенс! Генератор не нужно оснащать изолирующим выключателем.
58. Подставьте нужный термин в предложение: «В доме, оборудованном системой \_\_\_\_\_, через окна, которые обеспечивают обогрев днем, тепловая энергия может выходить наружу в ночное время, если их не оснастить жалюзи или шторами».
- (а) прямого гидроэлектрического климат-контроля;  
 (б) плоско-пластинчатых коллекторов для нагрева воды солнечной энергией;  
 (в) прямого климат-контроля с помощью ветряных силовых установок;  
 (г) обогрева на солнечной энергии;  
 (д) прямого фотоэлектрического климат-контроля.
59. Использование бензина марки Е10 (газохола) вместо обычного бензина в двигателе внутреннего сгорания автомобиля может повысить вероятность:
- (а) отказа электрики;  
 (б) снижения километража из-за плохой синхронизации двигателя;  
 (в) неуправляемого ускорения;  
 (г) замерзания топливопровода в холодную погоду;  
 (д) всего названного.
60. Одна из самых многообещающих технологий управляемой термоядерной реакции основана на использовании в качестве топлива смеси:



## Заключительный экзамен

- (а) дейтерия и трития;
  - (б) гелия и водорода;
  - (в) наиболее распространенного изотопа водорода;
  - (г) водорода и кислорода;
  - (д) водорода и азота.
61. Метан наиболее часто используется в качестве топлива для:
- (а) реактивных самолетов;
  - (б) машин и грузовиков;
  - (в) поездов;
  - (г) обогрева домов;
  - (д) испарительного охлаждения.
62. Для чего печь на деревянных пеллетах оснащается сетевым фильтром?
- (а) он снижает количество нагара в топке и повышает общую эффективность печи;
  - (б) он помогает регулировать приток воздуха в топке и предотвращает перегрев, вызываемый неожиданной нижней тягой в дымоходе;
  - (в) он поддерживает постоянную температуру горения пеллет и снижает количество золы и шлака;
  - (г) он минимизирует риск повреждения контрольной электроники в случае скачков напряжения в сети;
  - (д) ерунда! Сетевой фильтр в печи на пеллетах абсолютно ни к чему.
63. Недостаток метана для производства электроэнергии в США состоит в том, что:
- (а) его использование приводит к выделению загрязнителей из тяжелых металлов, период распада которых составляет сотни лет;
  - (б) метан также является популярным топливом для обогрева домов, что может привести к дисбалансу спроса и предложения;
  - (в) метан поставляется к конечным потребителям на поездах или автоцистернами;
  - (г) метан горит неэффективно, с большим количеством вредных выбросов, при этом выделяется сравнительно мало энергии;
  - (д) перед подачей в камеру сгорания метан необходимо измельчить.
64. На рисунке «Тест-6» изображена принципиальная схема работы системы, предназначенной для производства электричества



за счет энергии морских валов. Какой узел обозначен символом «Х»?

- (а) воздушный насос;
- (б) водяной насос;
- (в) предохранительный клапан;
- (г) воздушная турбина;
- (д) ничего из названного.

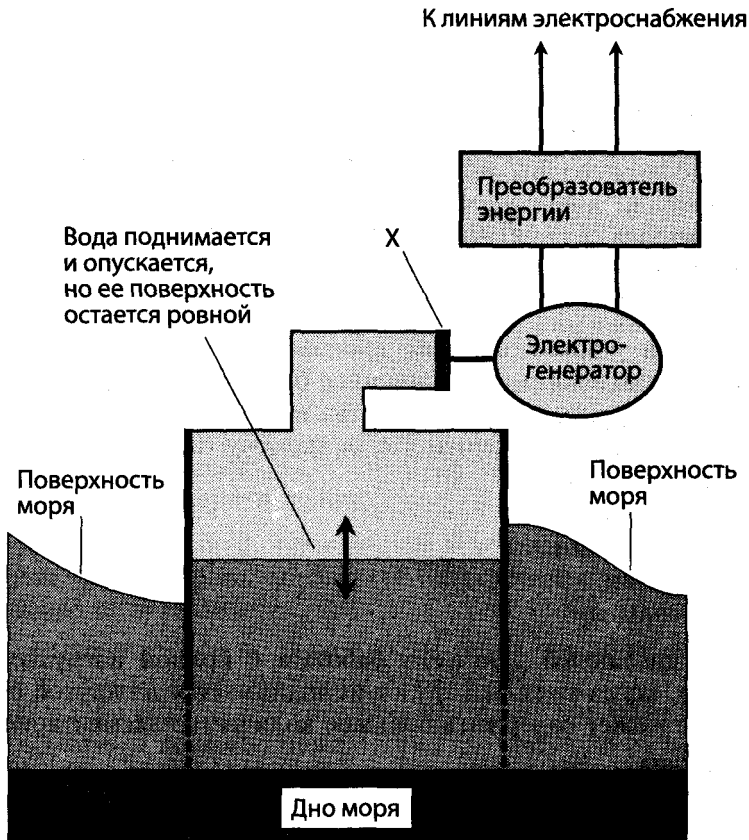


Рис. «Тест-6». Диаграмма к вопросу 64

65. Предположим, сопротивление нагревательного элемента бытового электрообогревателя удваивается. Обогреватель работает на переменном токе с постоянным среднеквадратичным значени-



## Заключительный экзамен

ем напряжения в 117 В. Что произойдет с тепловой мощностью обогревателя, если предположить, что все электричество, потребляемое нагревательным элементом, преобразуется в полезную теплоту?

- (а) она упадет на четверть по сравнению с первоначальным значением;
- (б) она упадет наполовину по сравнению с первоначальным значением;
- (в) она не изменится;
- (г) она удвоится;
- (д) она увеличится в 4 раза.

66. В качестве топлива для двигателей дизельное топливо отличается:

- (а) высоким содержанием этанола;
- (б) высокой энергетической плотностью;
- (в) высоким содержанием метанола;
- (г) высоким содержанием метана;
- (д) высоким содержанием свинца.

67. Если при систематическом производстве этанола в заданном объеме использованная в процессе биомасса восполняется выращиванием идентичного количества новой биомассы, произведенный этанол по отношению к парниковому газу  $\text{CO}_2$  является:

- (а) обогащенным;
- (б) негативным;
- (в) нейтральным;
- (г) щадящим;
- (д) безопасным.

68. Когда дизельный двигатель работает с полной нагрузкой (например, когда тяжелый грузовик поднимается на крутой склон), выхлоп может содержать большое количество элементарного:

- (а) метана;
- (б) кислорода;
- (в) угля;
- (г) азота;
- (д) водорода.

69. При использовании теплового насоса «воздух—воздух» в режиме обогрева температура воздуха, отходящего от внутреннего вентилятора, составляет примерно:



- (а) 10 °С;
- (б) 20 °С;
- (в) 35 °С;
- (г) 70 °С;
- (д) 100 °С.

70. Чем кукурузное зерно отличается от деревянных пеллет при их использовании для домашнего обогрева?
- (а) зерно можно хранить вечно, а пеллеты — нет;
  - (б) в процессе сжигания зерна образуется нагар, а в процессе сжигания пеллет — нет;
  - (в) зерно содержит биологически опасные компоненты, а пеллеты — нет;
  - (г) при сжигании зерна образуется больше золы, чем при сжигании пеллет;
  - (д) зерно содержит этанол, который горит с большим выделением теплоты, чем дерево.
71. Какое из приведенных ниже условий само по себе делает проживание в подземном доме непрактичным?
- (а) частые торнадо;
  - (б) частый град;
  - (в) частые грозы;
  - (г) равнинная местность;
  - (д) ни одно из перечисленных.
72. Дом, оборудованный системой воздушного отопления и охлаждения, должен быть абсолютно воздухонепроницаем. Если это условие не выполняется, то:
- (а) излишки тепла по мере работы топки накапливаются, вызывая некомфортные колебания температуры;
  - (б) система воздушного кондиционирования приводит к конденсации влаги на верхних этажах дома, где температура ниже всего;
  - (в) воздух не может свободно циркулировать по дому, даже если открыть двери всех комнат;
  - (г) угарный газ (СО) в случае аварии топки быстро накапливается в доме, и его концентрация достигает смертельно опасного уровня прежде, чем вы успеете отреагировать;
  - (д) секундочку! Это утверждение неверно. Дом должен быть абсолютно воздухонепроницаем для того, чтобы добиться его наибольшей энергоэффективности.





## Заключительный экзамен

73. Когда система испарительного охлаждения работает лучше всего?
- (а) при жаркой и влажной погоде;
  - (б) при ветреной и влажной погоде;
  - (в) при теплой и облачной погоде;
  - (г) при жаркой и сухой погоде;
  - (д) при любых названных погодных условиях система испарительного охлаждения работает одинаково хорошо.
74. Абсолютный нуль означает:
- (а) полное отсутствие тепловой энергии;
  - (б) точку замерзания водорода;
  - (в) точку замерзания гелия;
  - (г) точку замерзания воздуха на уровне моря;
  - (д) точку замерзания кислорода;
75. Угольная печь в отличие от гибридной (угольно-дровяной) предназначена для сжигания:
- (а) торфа;
  - (б) антрацита;
  - (в) битуминозного угля;
  - (г) бурого угля;
  - (д) всего названного.
76. Что из названного ниже является преимуществом конструкции «дом на склоне холма» по сравнению с традиционной конструкцией дома?
- (а) требуется меньше работ по ремонту внешней отделки;
  - (б) летом в таком доме прохладнее;
  - (в) при хорошей изоляции такой дом лучше держит тепло;
  - (г) в такой дом проникает меньше шума снаружи;
  - (д) все названное.
77. На рисунке «Тест-7» изображена солнечная панель с регулируемым углом наклона. Панель показана сбоку и направлена на запад. Каково оптимальное значение угла  $q$  для круглогодичного использования панели на  $55^\circ$  северной широты при условии, что угол наклона панели остается неизменным?
- (а)  $55^\circ$ ;
  - (б)  $45^\circ$ ;
  - (в)  $35^\circ$ ;
  - (г)  $25^\circ$ ;
  - (д) оптимальное значение угла  $q$  невозможно определить без заданной долготы.

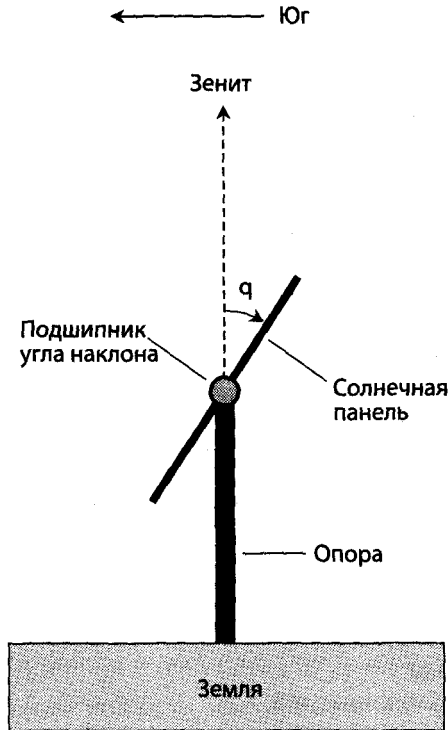


Рис. «Тест-7». Диаграмма к вопросу 77

78. Представим зональный электронагреватель, резистивные элементы которого закреплены на потолке. Эти элементы раскалятся докрасна, когда через них пропускается электрический ток. Над ними расположены инфракрасные отражатели. Основным способом передачи теплоты в такой конфигурации будет:
- (а) излучение (радиация);
  - (б) теплопроводность;
  - (в) энтропия;
  - (г) конвекция;
  - (д) абсорбция.
79. В открытом космосе ракетный двигатель производит прямую тягу:
- (а) только если скорость выхлопа выше, чем скорость поступательного движения ракеты;



## Заключительный экзамен

- (б) только если ракета движется с поступательной скоростью, превышающей определенное значение;
  - (в) вне зависимости от скорости выхлопа относительно скорости движения ракеты;
  - (г) только при использовании жидкого топлива;
  - (д) только при использовании твердого топлива.
80. Какая из названных единиц измерения обладает теми же измерительными характеристиками или признаками, что и джоуль?
- (а) градус по шкале Цельсия;
  - (б) градус по шкале Фаренгейта;
  - (в) ватт-секунда;
  - (г) Британская тепловая единица;
  - (д) калория в секунду.
81. Подставьте нужный термин в предложение: «Выращивание кукурузы для получения этанола обеспечивает поглощение \_\_\_\_\_ из атмосферы».
- (а) кислорода;
  - (б) метана;
  - (в) двуокиси углерода;
  - (г) сероводорода;
  - (д) пылевых загрязнителей.
82. Что из названного является веской причиной для того, чтобы размещать нефтяной бак для нефтяной топки под землей?
- (а) в случае протечки его проще починить, чем надземный бак;
  - (б) в случае землетрясения подземный бак пострадает с меньшей вероятностью, чем надземный;
  - (в) температура под землей стабильней, чем над почвой, поэтому вероятность того, что нефть в холодную погоду станет вязкой в подземном баке, меньше, чем в надземном;
  - (г) в подземном баке нефть проще смешивать с биотопливом, чем в надземном;
  - (д) ничего! Нефтяной бак нельзя размещать под землей.
83. В США биодизель получают в основном из:
- (а) кукурузы;
  - (б) пшеницы;
  - (в) ячменя;
  - (г) овса;
  - (д) ничего из названного.



84. Какая из названных перспективных технологий подразумевает использование испускаемых Солнцем субатомных частиц, обладающих высокой скоростью, для движения космического корабля в межпланетном пространстве?<sup>1</sup>
- (а) солнечный парус;
  - (б) ионная ракета;
  - (в) термоядерный двигатель;
  - (б) ядерный реактор;
  - (в) прямоточный двигатель Бассарда.
85. Подставьте нужный термин в предложение: «Большинство моделей космических кораблей с двигателем, основанным на термоядерном синтезе водорода, для вывода космического корабля на околоземную орбиту предусматривают использование \_\_\_\_\_, после чего, уже в космосе, включается термоядерный реактор».
- (а) ионного двигателя;
  - (б) обычной ракеты;
  - (в) реактивного самолета;
  - (г) солнечного паруса;
  - (д) водородной бомбы с дефлектором взрывов.
86. Что из названного является значительным преимуществом установленных на крыше плоско-панельных (плоско-пластинчатых) коллекторов для обогрева дома и нагрева воды за счет солнечной энергии?
- (а) они эффективно работают вне зависимости от расположения;
  - (б) они работают, даже если покрыты снегом;
  - (в) они практически неуничтожимы;
  - (г) если их расположить на крутом северном скате крыши, они могут служить световыми люками;
  - (д) единственным необходимым внешним источником энергии для такой системы отопления является электричество для гидронасоса.
87. Электростанция какого типа изображена на рис. «Тест-8»?
- (а) геотермальная электростанция бинарного типа;
  - (б) геотермальная электростанция на охладителе;

---

<sup>1</sup> См. примечание 7 к главе 9. — *Прим. пер.*



## Заключительный экзамен

- (в) паротермальная электростанция;  
(г) обычная геотермальная электростанция;  
(д) многоцелевая геотермальная электростанция.
88. Какой узел обозначен символом «X» на рис. «Тест-8»?
- (а) инвертирующий усилитель мощности;  
(б) сетевой фильтр;  
(в) аккумулятор;  
(г) трансформатор;  
(д) ни один из названных.

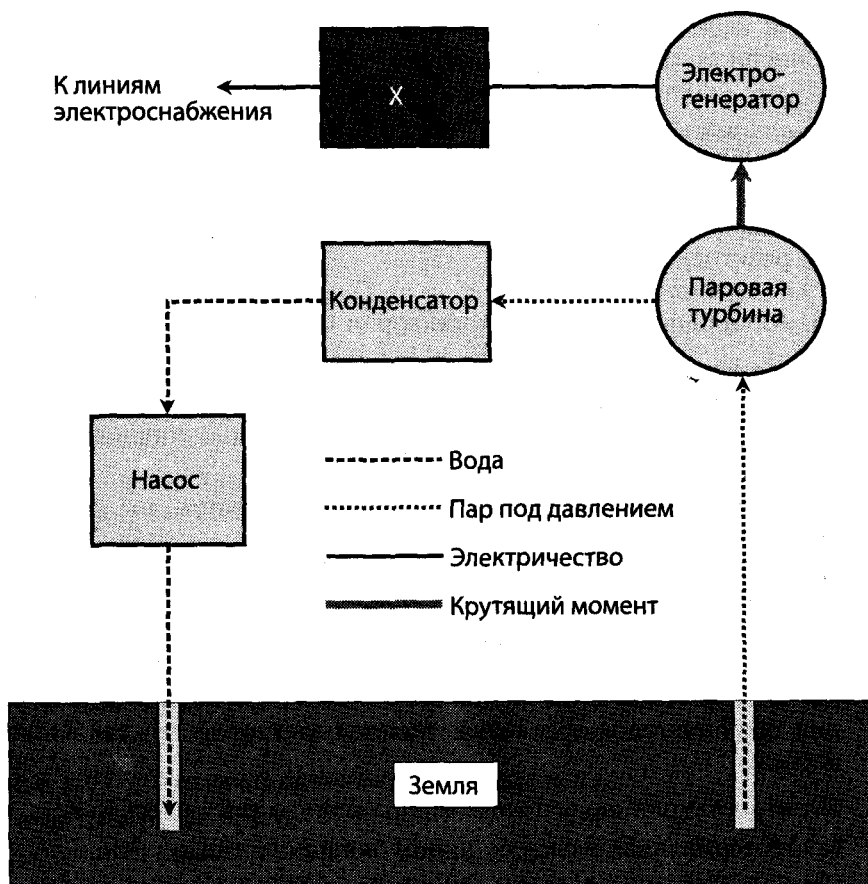


Рис. «Тест-8». Диаграмма к вопросам 87 и 88



89. Аккумулятор электромобиля или гибридного электромобиля можно подзарядить любыми приведенными ниже способами, *кроме*:
- (а) регенеративного торможения;
  - (б) солнечных батарей;
  - (в) ветряных турбин;
  - (г) от сети;
  - (д) электролиза воды.
90. Значительная проблема, связанная с использованием биодизеля, по сравнению с обычным дизельным топливом состоит в том, что:
- (а) биодизель обладает свойствами растворителя и может повредить резиновые компоненты старых двигателей, предназначенных для использования обычного дизельного топлива;
  - (б) при сгорании биодизеля выделяется больше угарного газа, чем при сгорании обычного дизельного топлива;
  - (в) биодизель производится из невозполняемых источников, тогда как обычное дизельное топливо — из восполняемых;
  - (г) широкое использование биодизеля может негативно отразиться на фермерском хозяйстве, так как снизит потребность в некоторых видах злаков;
  - (д) все названное.
91. Значительное преимущество сжигания биодизеля перед сжиганием обычного дизельного топлива состоит в том, что в большинстве случаев при сжигании биодизеля выделяется меньше:
- (а) двуокиси углерода;
  - (б) двуокиси серы;
  - (в) оксида углерода;
  - (г) пылевых загрязнителей;
  - (д) всего названного.
92. Какое из названных происшествий с наибольшей степенью вероятности выведет из строя домашнюю систему климат-контроля, энергию для которой обеспечивает малая гидроэлектростанция?
- (а) авария в коммунальной энергетической системе (блэкаут);
  - (б) сильный град;
  - (в) сильный снегопад;
  - (г) долгая засуха;



## Заключительный экзамен

- (д) все названное может вывести из строя такую систему с равной степенью вероятности.
93. Ускорение и торможение поезда на магнитном подвесе осуществляются за счет:
- (а) постоянных магнитов;
  - (б) линейных индукционных двигателей;
  - (в) электромагнитов переменного тока;
  - (г) генератора переменного тока;
  - (д) эффекта Ирншоу.
94. Предположим, что высоковольтная линия, подающая напряжение в 100 000 В, обслуживает небольшой населенный пункт. Есть предложение повысить напряжение в линии до 400 000 В. Новая линия должна быть той же длины, что и предыдущая. На ней будут использованы провода того же сечения, поэтому сопротивление проводов не изменится. Изменения потребления электричества в населенном пункте также не ожидается. Как изменится показатель потерь электроснабжения в новой линии?
- (а) уменьшится в 2 раза;
  - (б) уменьшится в 4 раза;
  - (в) уменьшится в 16 раз;
  - (г) уменьшится в 64 раза;
  - (д) для ответа на вопрос требуется больше информации.
95. При свободном перемещении энергии в форме теплоты из одной среды в другую температуры обеих сред со временем стремятся уравниваться. Этот процесс называется:
- (а) теплота плавления;
  - (б) термическое разложение;
  - (в) тепловое распределение;
  - (г) тепловая энтропия;
  - (д) уравнивание потенциальной энергии.
96. Средняя гидроэлектростанция, извлекающая энергию из ручья или небольшой речки для обеспечения электроэнергией одного жилого дома, скорее всего, будет использовать:
- (а) деривационный отвод;
  - (б) искусственное водохранилище;
  - (в) несколько резервуаров;
  - (г) приливные плотины;
  - (д) паровые турбины.



97. Электростанции с паровыми турбинами на нефти можно переоборудовать для использования в качестве горючего:
- (а) метана;
  - (б) урана;
  - (в) азота;
  - (г) окислов азота;
  - (д) двуокиси серы.
98. На рисунке «Тест-9» изображена функциональная схема автомобиля на водородных топливных элементах. Какой узел изображает квадрат, помеченный символом «Х»?
- (а) ультраконденсатор;
  - (б) систему углеродных нанотрубок;
  - (в) генератор переменного тока;
  - (г) систему регенеративного торможения;
  - (д) накопительный аккумулятор.

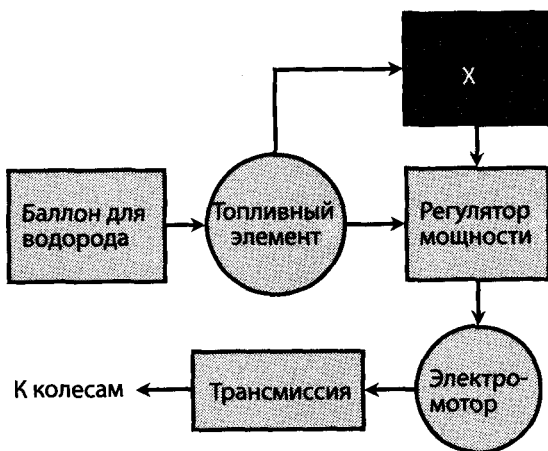


Рис. «Тест-9». Диаграмма к вопросу 98

99. Ультраконденсатор используется в электромобилях и гибридных электромобилях для:
- (а) обеспечения кратковременного ускорения после торможения;
  - (б) подзарядки аккумуляторов во время стоянки автомобиля;
  - (в) предотвращения утечек водорода и двуокиси серы из аккумулятора;





## Заключительный экзамен

(г) климат-контроля в автомобиле;  
(д) преобразования переменного тока от генератора в постоянный для подзарядки аккумулятора.

100. Каково назначение преобразователя напряжения в системе непосредственного управления климатом с помощью фотоэлементов?

(а) он меняет фазу сетевого переменного электрического тока напряжением 117 В;

(б) он преобразует низковольтный постоянный ток, вырабатываемый солнечной батареей, в переменный ток напряжением 117 В;

(в) он преобразует сетевой переменный электроток напряжением 117 В в низковольтный постоянный ток;

(г) он поддерживает на одном уровне постоянный ток, вырабатываемый солнечной батареей;

(д) система непосредственного управления климатом с помощью фотоэлементов не предусматривает использования преобразователей напряжения вообще.

# ОТВЕТЫ

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

### Глава 1

1. а	2. г	3. б	4. в	5. г
6. в	7. б	8. б	9. а	10. б

### Глава 2

1. в	2. а	3. г	4. а	5. в
6. б	7. в	8. а	9. б	10. г

### Глава 3

1. в	2. в	3. б	4. г	5. а
6. г	7. б	8. а	9. б	10. г

### Глава 4

1. в	2. в	3. б	4. в	5. а
6. а	7. г	8. б	9. а	10. б

### Глава 5

1. в	2. в	3. в	4. б	5. а
6. а	7. б	8. г	9. б	10. б

### Глава 6

1. а	2. б	3. в	4. а	5. а
6. в	7. г	8. б	9. в	10. г

### Глава 7

1. в	2. в	3. г	4. а	5. а
6. г	7. г	8. в	9. б	10. в

### Глава 8

1. в	2. а	3. г	4. г	5. г
6. б	7. б	8. г	9. в	10. б

### Глава 9

1. г	2. б	3. г	4. а	5. г
6. г	7. а	8. в	9. б	10. б



## АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА без тайн

### Глава 10

1. в	2. а	3. а	4. в	5. а
6. а	7. в	8. г	9. б	10. г

### Глава 11

1. а	2. б	3. в	4. г	5. г
6. б	7. г	8. а	9. г	10. в

### Глава 12

1. в	2. в	3. а	4. б	5. г
6. б	7. б	8. г	9. в	10. в

### Глава 13

1. в	2. г	3. б	4. б	5. а
6. в	7. а	8. в	9. г	10. а

### ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН

1. в	2. а	3. г	4. в	5. в
6. д	7. д	8. г	9. д	10. а
11. б	12. д	13. б	14. б	15. в
16. а	17. а	18. г	19. в	20. в
21. б	22. д	23. в	24. а	25. б
26. в	27. а	28. а	29. б	30. б
31. д	32. а	33. а	34. д	35. в
36. в	37. д	38. в	39. д	40. г
41. а	42. а	43. б	44. б	45. в
46. д	47. а	48. в	49. д	50. д
51. а	52. б	53. в	54. в	55. б
56. б	57. а	58. г	59. г	60. а
61. г	62. г	63. б	64. г	65. б
66. б	67. в	68. в	69. в	70. д
71. д	72. г	73. г	74. а	75. б
76. г	77. в	78. а	79. в	80. г
81. в	82. в	83. д	84. а	85. б
86. д	87. в	88. г	89. д	90. а
91. д	92. г	93. б	94. в	95. г
96. а	97. а	98. д	99. а	100. б

# Предметный указатель

2H — см. *дейтерий*

3H — см. *третий*

## **В**

BTU — см. *Британская  
тепловая единица*

## **С**

C-12 — см. *углерод 12*

C-14 — см. *углерод 14*

CFC — см. *хлорфторуглерод*

CO — см. *окись углерода*

CO<sub>2</sub> — см. *диоксид углерода*

## **D**

D — см. *дейтерий*

D-T-синтез — см. *дейтериево-  
тритиевый синтез*

## **E**

E10 142

E85 20, 116, 142–144, 158

## **G**

GGE — см. *коэффициент GGE*

## **H**

He-3 — см. *гелий-3*

He-4 — см. *гелий-4*

HFC — см. *гидрофторуглероды*

## **I**

Inductrack 185

## **J**

JET A 124

JET B 124

## **L**

LEVITRON 181

## **M**

Maglev — см. *поезд на  
магнитной подушке*

## **P**

p-n-переход 272–273

## **S**

SO<sub>2</sub> — см. *диоксид серы*

SpaceShipOne 132

## **T**

T — см. *третий*

## **U**

U-234 — см. *уран-234*

U-235 — см. *уран-235*

U-238 — см. *уран-238*



## Предметный указатель

### А

Абсолютный диамагнетизм —  
см. *эффект Мейснера*

Абсолютный температурный  
ноль 50, 180

Аварийное обесточивание 207

Автоматический выключатель  
100

Автомобили на водородном  
топливе 163–166

недостатки 164

преимущества 164

Автомобили на топливных  
элементах 167–170

источник энергии 169

недостатки 170

преимущества 170

принцип действия 169

Автомобильный аккумулятор  
151–170

Автономный электрогенератор  
217–221

принцип действия 218

Аккумулятор

в малых фотоэлектрических  
системах 283–286

зарядка 155

зарядная емкость 155

на малых

ветроэлектростанциях 248

на малых

гидроэлектростанциях 229

на малых электростанциях на  
топливных элементах 301

резервный 246

Аккумулятор повышенной  
емкости 168

Алканы 116

Алкены 116

Аляскинское течение 233

Ампер 54

Ампер-час 155

Антиоксидант 124

Антифриз 83

Антиэлектрон — см. *позитрон*

Антрацит 22–24

Арахис как источник биодизеля  
297

Астероид 195

Атмосферная электростанция  
307–310

недостатки 309

преимущества 308

Атом 255–261

Атомный вес 256

Атомный номер 256

Ацетальдегид 139

### Б

Безразмерная величина 139

Белый порох как ракетное  
топливо 129

Бензин 115–120

в автономных

электрогенераторах 219

в гибридных электромобилях  
158

как топливо для автомобилей  
115



недостатки 119  
 преимущества 118  
 присадки  
 состав 116  
 Бензиновый двигатель, принцип работы 116–118  
 Бензол 139  
 Бериллий 256  
 Бесперебойное электроснабжение 245, 283  
 Биметаллическая пластина 54  
 Бинарная жидкость 292–293  
 Биогаз 135, 140, 298–301  
 Биодизель 145–149  
     в качестве топлива для двигателей 145  
     недостатки 148  
     преимущества 147  
     принцип действия 147  
     производство 145, 146  
 Биологические масла 120  
 Биотопливо — см. *биодизель*  
 Битуминозный уголь 22  
 Блэкаут — см. *аварийное обесточивание*  
 Болотный газ 299  
 Большие и средние гидроэлектростанции 225–228  
     недостатки 228  
     преимущества 227  
 Британская тепловая единица 10  
 Британская тепловая единица в час 11

Буран 244, 251  
 Бурый уголь 23  
 Бутан 43

## В

Ватт 9  
 Ватт-секунда 9  
 Ватт-час 10  
 Вентилятор  
     в газовом котле 40  
     в печи на пеллетах 17  
 Ветер  
     нагрузка 246  
     скорость 239, 245, 251  
 Ветряная мельница 95, 211, 239  
 Ветряная турбина 91, 92, 94, 240, 245–247, 250  
 Взрыв ядерного реактора 259  
 Видимый свет 73, 74, 271  
 Вихревые токи 183  
 Влажность 66, 107, 108  
 Вмонтированная в пол система радиаторного отопления 33  
 Внутреннее сопротивление 274, 275  
 Водород  
     в гибридных электромобилях 158  
     в ионной ракете 190–191  
     в прямоточном двигателе  
 Бассарда 194  
     в реакции термоядерного синтеза 262, 263



## Предметный указатель

в Солнце 262  
в топливных элементах 167  
для получения электричества 255  
и свинцовые аккумуляторы 152, 153  
как ракетное топливо 128  
как химический элемент  
получение 163–164  
хранение 165–166  
Водородная бомба 193  
Водяная турбина 95–98  
Воздухозаборник 22, 29–32  
Воздушное отопление 29–33  
недостатки 32  
преимущества 31–32  
принцип действия 29–31  
Волна 236  
Волновые электростанции 236–239  
недостатки 238  
преимущества 238  
принцип действия 236–237  
Вольт 206  
Восьмицилиндровый двигатель 118  
Впадина (волны, отлива) 231  
Впрыск 116–117  
Выпускной шлюз 234–235  
Временное падение  
напряжения 95  
Вспышки на солнце 199  
Вторая космическая скорость 129

Вторичная защитная оболочка 259  
Вторичный воздухозаборник 14  
Входное отверстие 29  
Вынужденное деление 257  
Выпрямитель 245  
Выпускной шлюз 234  
Высоковольтные линии  
электропередач 281  
Высотный воздушный шар 307

## Г

Газовая печь 14  
Газовая турбина 211  
Газовые печи с принудительной  
подачей воздуха, виды  
конструкций 41  
Газовый вентиль 40  
Газотурбинная электростанция  
на нефти 211  
Газохол 20, 116, 142  
Гамма-излучение 258, 263  
Гелий  
как химический элемент 256  
как побочный продукт  
термоядерного синтеза 195  
Гелий-3 263  
Гелий-4 263  
Генератор переменного тока 156  
Геотермальная электростанция  
291–296  
преимущества 295  
недостатки 296



Геотермальная электростанция  
 бинарного цикла 292–295  
 Геотермальный тепловой  
 насос — *см. тепловой насос*  
*«грунт–воздух»*  
 Гибридная система подачи  
 топлива 140  
 Гибридное топливо 132  
 Гибридный электромобиль 158–  
 162  
     недостатки 162  
     параллельного типа 160–161  
     последовательного типа 158–  
     160  
     преимущества 161  
 Гидразин 128  
 Гидроаккумулирующие  
 электростанции 227  
 Гидроксилполибутадиен 132  
 Гидрологический цикл — *см.*  
*круговорот воды в природе*  
 Гидроокись калия 145  
 Гидроокись натрия 145  
 Гидрофторуглероды 62  
 Гидроэлектростанции  
 с искусственным  
 водохранилищем 226  
 Гироскоп 191  
 Глобальное потепление 120  
 Глобальный электрический  
 контур 305  
 Гольфстрим 233  
 Гондола (корзина) ветряной  
 турбины 240  
 Государственный электрический  
 стандарт 220

Гребень (волны, прилива) 231  
 Гроза 94, 244, 251  
 Грунтовые воды 109  
 ГФУ — *см. гидрофторуглероды*

## Д

Давление солнечного света 197  
 Дамба (плотина) 225  
 Датчик дыма 25  
 Датчик положения 177  
 Датчик пропана 45  
 Двигатель внутреннего сгорания  
 115  
 Движение грунта 87  
 ДВС — *см. двигатель*  
*внутреннего сгорания*  
 Двуокись кремния  
 Двуокись свинца  
 Двуокись серы 37–38, 147, 152,  
 156  
 Двуокись углерода 37, 119, 163,  
 297  
 Двухтактный двигатель 119  
 Двухцилиндровый двигатель 118  
 Дейтериево-тритиевый синтез  
 264  
 Дейтерий 263–268, 270  
 Деление — *см. ядерный распад*  
 Деривационные  
 гидроэлектростанции 227  
 Джоуль  
     в секунду 9  
     как единица измерения  
     кинетической энергии 9, 226





## Предметный указатель

- на грамм 10
- на килограмм 10
- определение 9
- Диамagnetизм 179–180
- Диамagnetик 179–180
- Диетическая калория 10
- Дизель-генератор 220
- Дизельное топливо
  - в гибридных электромобилях 158
  - в топливных элементах
  - недостатки 122
  - преимущества 120, 122
- Дизельное топливо в гибридных электромобилях 158
- Дизельный двигатель, принцип действия 121
- Дистилляция 295
- Диэлектрик 305
- Длинноволновое инфракрасное излучение 73–74, 78, 81
- Докритическое состояние 258
- «Дом на склоне холма» 85
  - недостатки 87
  - преимущества 87
  - принцип действия 86
- Донная турбина 232–234
- Донные противотечения 239
- Доступный объем электроэнергии, получаемой с помощью ветра 251
- Дренаж 87, 108
- Дровяная печь 11
  - недостатки 15–16
  - преимущества 15
  - принцип действия 11–15
- Дровяное топливо 15
- Дуговой пробой 207
- Дымоход (дымовая труба) 14
- Е**
  - Единицы измерения мощности 9
- Ж**
  - Животный жир как источник биотоплива 38, 120, 148
  - Жидкое ракетное топливо 127–128
- З**
  - Загрязнение окружающей среды 59, 147–148, 156–157
  - Загрязнение почвы 227, 238, 259
  - Зажигание 116
  - Заземление 59
  - Закись азота 132, 147
  - Замедлитель 270
  - Запальная свеча —  
*см. электрический запальник*
  - Засуха, влияние на производительность ГЭС 97, 228
  - Защитная оболочка реактора 259
  - Земельно-ионосферный суперконденсатор 305–308
  - Землетрясение 109–110, 221, 259
  - Зыбь 236

**И**

Ива как источник биомассы 297

Излучение (тепла) 12

Изолирующий выключатель 220

Изотоп 256

    нестабильный 256

    определение 256

    радиоактивный 256

    стабильный 256

ИК — см. *инфракрасное  
(излучение)*

Инверсионный след 127

Ингибитор оледенения 124

Инжекция пучка нейтральных  
атомов 268

Интерактивная малая  
гидроэлектростанция

Инфракрасное (излучение) 52

Ион 257

    в термоядерном реакторе 257

    как заряженный атом 257

    положительно заряженный  
    257

Ионизированный газ

Ионизирующее излучение — см.  
*радиоактивность*

Ионистор — см. *конденсатор с  
двойным электрическим слоем*

Ионная ракета 190–192

    недостатки 191–192

    преимущества 191

    принцип действия 190

Ионный двигатель 190

Ионосфера 305

Ирришоу, Сэмюэль 177

Ископаемое топливо

    для двигателей 212

    для отопления 203–210

    и ветроэнергетика 225

    как источник электричества  
    203

Искра 116, 118

Искрение — см. *дуговой пробой*

Искровое зажигание 115

Искусственное водохранилище  
225–226, 228–229

Искусственный водопад 227

Испарение 60–61, 64, 66, 105,  
107, 156

Испаритель

Испарительное охлаждение  
105–109

    недостатки 108

    преимущества 100

    принцип действия 107

Использование солнечной  
энергии с другими источниками  
286

**К**

Кадмий 156

Калория 10

Калория на грамм 10

Камера сгорания в системах  
отопления 37

Камин 41, 208

Капиллярный эффект 105

Карбюратор 37, 116



## Предметный указатель

- Катализатор в ракетном топливе  
Каталитический конвертер 11, 14  
Катод 190  
Катушки полоидального поля 267  
Катушки тороидального поля 267  
Кварцевый песок 283  
Кельвин 50  
Керосин 124  
    в топливе для ТРД 124  
    как ракетное топливо 128  
Киловатт 10  
Киловатт-час 10  
Килокалория 10  
Километр в час, как единица измерения скорости ветра 239  
Кинетическая энергия 49  
Кислород  
    как продукт электролиза 163  
    как элемент ракетного топлива 127–128  
Кислотный дождь 127  
Колебательное поле 182–183  
Коленчатый вал 116–118  
Количество движения 190  
Компостирование 135–136  
Конвекция 11  
Конденсатор 205, 292, 294  
Конденсатор с двойным электрическим слоем 306  
Конденсационный след — см. *инверсионный след*  
Конденсация 60–62  
Кондиционирование 68  
Коротковолновое ИК-излучение 73  
Космический челнок «Орион» 193  
Котел 188, 205, 259, 270  
Коэффициент GGE 138  
Коэффициент полезного действия (КПД) бензинового двигателя 219  
Коэффициент полезного действия (КПД) электрогенератора 219  
Коэффициент преобразования фотоэлемента 273  
Кремний n-типа 272  
Кремний p-типа 272  
Критическое состояние 258  
Круговорот воды в природе 228  
Круговорот углерода 297  
Крупные ветроэлектростанции 239–245  
    варианты конструкций 240–241  
    диапазон работы 239  
    и линии электропередач 243  
    и птицы 244  
    и шум 244  
    недостатки 243  
    преимущества 243  
    производительность 240  
    скорость ветра 240  
Крутящий момент 117–118, 161  
Кукурузное зерно как источник этанола 20



## Л

Лавирование при помощи  
солнечного паруса 198  
Левитация в магнитном поле —  
см. *магнитный подвес*  
Линейный индукторный  
двигатель 185  
Линии магнитной индукции 179  
Литий  
    в термоядерном реакторе 270  
    как химический элемент 256  
Локхид, Мартин 193  
Ломоносов, Михаил  
Лошадиная сила 219  
ЛЭП — см. *высоковольтные  
линии электропередач*

## М

Магма 109, 291  
Магнит  
    в генераторе  
    постоянный 177  
Магнитное поле 175  
Магнитное удержание 266  
Магнитные полюса 175  
Магнитный подвес 175  
Максимальная мощность 273  
Максимально допустимая  
скорость ветра 240  
Максимально достижимая сила  
тока 273  
Максимальный возможный ток  
аккумулятора 155

Максимальный вырабатываемый  
ток 152  
Малая автономная ветряная  
турбина 246  
Малая автономная  
фотоэлектрическая система  
283—284  
Малая аккумулирующая  
интерактивная ветряная система  
247—248  
Малая аккумулирующая  
интерактивная  
гидроэлектростанция 229  
Малая аккумулирующая  
интерактивная  
фотоэлектрическая система 284  
Малая ветряная система 247—250  
    и шум 251  
    недостатки 251  
    преимущества 249  
    принцип действия 248  
Малая межсетевая  
интерактивная ветряная система  
250  
Малая межсетевая  
интерактивная  
гидроэлектростанция  
Малая межсетевая  
интерактивная  
фотоэлектрическая система 286  
Малая фотоэлектрическая  
система 283—284  
    и снег 287  
    и шум 287  
    недостатки 287—288  
    преимущества 287



## Предметный указатель

Малочувствительные к радиации материалы 271

Малые гидроэлектростанции 229  
и окружающий животный мир 231  
недостатки 230  
преимущества 230  
принцип действия 229–230

Малые деривационные гидроэлектростанции 227

Малые электростанции на топливных элементах 301

водород 303–304  
и бензин 303  
и биодизель 304  
и дизельное топливо 304  
и метан 302  
и метанол 304  
и принцип действия 301–302  
и пропан 303  
недостатки 304  
преимущества 303

Мегаватт 240

Международная Энергетическая ассоциация 203

Межпланетный перелет 129, 131

Мейснер, Вальтер 180

Меля в час, как единица измерения скорости ветра 239

Меркаптан этила 45

Металл-гидрид 153

Метан как источник топлива 32, 135

в гибридных электромобилях 158

недостатки 136–137

преимущества 136

Метановые топливные ячейки

Метанол 168

Метаноловые топливные ячейки

Метеорит 195, 199

Метиловый спирт —  
см. *метанол*

Метр в секунду, как единица измерения скорости ветра 239

Микроволновое излучение 268

Микротопливные элементы 168

Минимально допустимая скорость ветра 240

«Модель Т»

Модератор — см. *замедлитель*

Молния 307

Монорельс 183

Морская навигация и волновые гидроэлектростанции 238

Морские животные и приливные гидроэлектростанции 238

Мутность воды 234

## Н

Наветренная конструкция (ветряной турбины) 241–242

Навоз как источник биогаза 298

Нагнетательная скважина 292

Нагон 236

Нагрев воды при помощи солнечной энергии 82–85



недостатки 84–85  
 преимущества 84  
 принцип действия 82–83  
 Нагревательный элемент 53  
 Нагрузка на линии  
 электропередач 205  
 Нагрузка сети 205  
 Надкритическое состояние 258  
 Наливные электростанции —  
 см. *гидроаккумулирующие  
 электростанции*  
 Нанотрубки 165  
 Напорный водовод 226–227  
 Насос 64–69  
 Насос системы охлаждения 188  
 Нейтрализация статического  
 электричества 31  
 Нейтрино 263  
 Непосредственное управление  
 климатом с помощью ветряных  
 силовых установок 91–94  
     недостатки 94  
     преимущества 93–94  
     принцип действия 91–92  
 Непосредственное управление  
 климатом с помощью  
 гидроэлектрических установок  
 95–98  
     недостатки 97–98  
     преимущества 97  
     принцип действия 95–97  
 Непосредственное управление  
 климатом с помощью  
 теплоаккумулирующих масс  
 101–100

Непосредственное управление  
 климатом с помощью  
 фотоэлементов 98–101  
     недостатки 101  
     преимущества 100  
     принцип действия 98–99  
 Неравномерность нагрузки  
 (энергосцентра) 282  
 Нерестовый цикл 228  
 Нечувствительная к сбоям  
 система электроснабжения 243  
 Никелевый аккумулятор 153  
 Никелевый элемент 153  
 Нитрат калия 129  
 Ноутбук 94, 153, 168, 303  
 Ньютон 52  
 Ньютон-метр 226

## О

Обогащение урана 259, 261  
 Обогрев при помощи  
 теплоаккумулирующих масс 76  
     недостатки 81  
     потолочные плиты 78  
     плиты пола 76  
     плиты стен 76  
     преимущества 81  
     принцип действия 80  
 Обратное давление 160  
 Обратные течения 232  
 Обратный ток 220  
 Озон 69, 139  
 Океанические валы 236



## Предметный указатель

Окислитель, в ракетном топливе 127

Окислы азота 216

Окислы серы 216

Оксид углерода (окислы углерода) 216

Окна в крыше 78–82

Окна на солнечной стороне 73–76

недостатки 75

преимущества 75

принцип действия 73–75

Оксенфельд, Роберт 180

Октан 116

Ом 53–54, 60

Омический нагрев 268

Омический разогрев 268

Опреснение морской воды 295

Оружейный уран 262

Освещение дома 94

Отключение энергоснабжения 221

Отопление горячей водой

преимущества 35

принцип действия 33–35

недостатки 35–36

Отопление метаном 39–43

преимущества 41

принцип действия 40

недостатки 42

Отопление под полом 33–36

Отопление пропаном

преимущества 43

принцип действия 43

недостатки 44

Отопление соляной

преимущества 38

принцип действия 36–38

недостатки 38–39

Охлаждение при помощи теплоаккумулирующих масс 101–105

преимущества 103–104

принцип действия 101–103

недостатки 104

## П

Падение напряжения 94–95, 155, 185, 207, 222

Память аккумулятора 154

Парниковый газ — см. *диоксид углерода*

Парниковый эффект 217

Паровая конверсия метана 163

Паровая теплоэлектростанция на нефти 209

Паровая турбина 205

Паровое отопление

недостатки 35–36

преимущества 35

принцип действия 33–35

Парогазовые электростанции на метане — см. *электростанции смешанного цикла*

Парогазовые электростанции на нефти — см. *электростанции смешанного цикла*

Парообразование 61–63

Паротермальная электростанция 292



- Пассивные системы обогрева на солнечной энергии
  - преимущества 81
  - принцип действия 80
  - недостатки 81
- Первая космическая скорость 129
- Первичный двигатель в гибридных электромобилях 160
- Перенос (тепла) — см. *конвекция*
- Перепад высот 227
- Период волны 236
- «Перископические окна» 109
- Персональный компьютер 207
- Печи на кукурузном зерне
  - преимущества 20
  - принцип действия 20—21
  - недостатки 20
- Печь на кукурузном зерне 20—22
- Печь на пеллетах 17—19
  - недостатки 18—19
  - преимущества 18
  - принцип действия 17—18
  - резервный аккумулятор 229
- Пищевой жир как источник биодизеля 145, 147
- Плазма 265—266
- Плоско-панельный коллектор 82
- Плоско-пластинчатый коллектор 82
- Поворотная панель 241
- Повышающий трансформатор 205
- Подветренная конструкция (ветряной турбины) 241—242
- Подземные жилища 109—111
  - вентиляция 110—111
  - преимущества 109—110
  - недостатки 110—111
  - принцип действия 109
- Подложка 273
- Подсолнечник как источник биодизеля 297
- Поезд на магнитной подушке 177, 183—186
  - недостатки 185—186
  - преимущества 185
  - принцип действия 183—185
- Пожар в дымоходе 16
- Позитрон 262
- Показатель производительности ветряной турбины 240
- Положительно заряженный ион 190
- Полупроводник 283
- Полупроводниковый диод 271
- Полупроводящий материал
- ПОМ — см. *топливный элемент с протонно-обменными мембранами*
- Понижающий трансформатор 207
- Порох 128—129
- Порошковый алюминий в ракетном топливе 129





## Предметный указатель

Порошок магнезии в ракетном топливе 129  
Поршень 116—119, 122  
Последовательно-параллельные соединения 153  
Постоянный ток 159, 163, 307  
Потенциальная энергия 41  
Потери энергоснабжения 206  
Потолочные покрытия 78—80  
Преобразователь напряжения 99  
Прибой 236, 239  
Прибрежные течения 232  
Приливная плотина 231, 233  
Приливная электростанция 231  
    недостатки 234—235  
    преимущества 233  
Приливной турбинный парк 233  
Принцип реактивного движения 125  
Принципы охлаждения 60  
Природный газ 39  
Пристенный радиатор 35  
Провал напряжения —  
см. *временное падение  
напряжения*  
Проект «Дедал» 193  
Проект «Орион» 193  
Пропан как топливо для  
двигателей 43—45  
    в гибридных электромобилях  
    160  
    недостатки 44  
    преимущества 43  
    принцип действия 43

Протон 255  
Прутьевидное просо как  
источник биомассы 297  
Прямоточный двигатель  
Бассарда 193  
Птицы, влияние на крупные  
ветряные турбины 244  
Пшеница как источник этанола  
141  
Пылевые загрязнители 227

## Р

Радиатор 33  
Радиационный щит 259  
Радиация (тепла) — см.  
*излучение*  
Радиоактивность 190, 193  
Радиоактивные отходы 262  
Радиоактивный изотоп 259  
Радон 88  
Разность потенциалов 152  
Ракетный двигатель 129—130  
Распыление топлива 37  
Реактивный двигатель 124—125  
Ребра жесткости 273  
Регенеративное торможение  
160—161  
Регулятор напряжения 92  
Регулятор положения 177  
Редуктор 118  
Резервная двигательная система  
198  
Резервный генератор 39  
Резервуар 83



Резистивный нагрев

недостатки 59

преимущества 59

Реле 54

Релятивистское замедление  
времени 195

Ременная передача 118

Рентгеновские лучи 258

Рихман, Георг 305

Рыбоподъемник 228

Рыбоход 228

Рябь 236

## С

Сажа 16

Саморазогрев плазмы 268

Свалки как источник биогаза 298

Сверхмалые углеродные  
структуры 165

Сверхпроводимость 180

Сверхпроводник 180—181

Свинцовый аккумулятор 152

Свинцовый элемент 152

Сворачивание (на ветряной  
турбине) 246

Сгорание в дизельном двигателе  
122

Северное полушарие 278

Седиментация 234

Сера

в производстве биодизеля 146

в ракетном топливе 128

Серная кислота 156

Сетевой фильтр 19

Сжиженный газ 43

Сигнал ошибки 177

Синтез термоядерный 192

Системы обогрева на  
резистивных элементах 52—59

недостатки 59

преимущества 59

Системы охлаждения на  
теплоэлектростанциях 188

Скорость света 263

Слоновья трава как источник  
биомассы 297

Смягчение воды 36

Снежная буря 93

Снижение (вредных) выбросов  
119

Соевые бобы как источник  
биодизеля 145

Соединения серы 127

Солнечная батарея 273, 275

Солнечная панель 304

Солнечные фермы — см.  
*солнечные энергоцентры*

Солнечные энергоцентры 280—  
283

недостатки 282

преимущества 281

принцип действия 280

Солнечный ветер 196

Солнечный парус 196—199

недостатки 199

преимущества 198

принцип действия 197



## Предметный указатель

Солярка 37–39  
Соппротивление 53  
Специальная теория относительности 192  
Спираль системы водяного отопления 34  
Среднеквадратичное значение напряжения — см. *эффективное значение напряжения*  
Средняя фотоэлектрическая система 274  
Срок хранения аккумулятора 155  
Стандартные температура и давление 52  
Стеклопакет 76, 88  
Стелларатор 267  
Сточные воды как источник биогаза 298  
Стук в двигателе 116  
Стэк 168  
Суперконденсатор 305  
Сухой помол, технология получения этанола 142  
Сырая нефть 43, 119

**Т**  
«Таблетка» 153  
Такт 117, 118  
Твердое ракетное топливо 128–129  
Температура 49–51  
Температура самовозгорания 124

Температурная шкала  
Кельвина 50  
Фаренгейта 50  
Цельсия 49  
Теорема Ирншоу 175–177  
Теоретическое выходное напряжение фотоэлемента 98–99  
Теплоаккумулирующие массы 80, 102  
Тепловая инерция 76, 78, 101  
Тепловая энтропия 49  
Тепловое расслоение воздуха 41  
Тепловой насос 64–68  
недостатки 69  
преимущества 68  
Тепловой насос «воздух–воздух» 64–66  
Тепловой насос «грунт–воздух» 68  
Теплообменник 270  
Теплопроводность 11  
Теплопроводящая жидкость — см. *хладагент*  
Теплота 9  
Теплота парообразования 61  
Теплый пол — см. *вмонтированная в пол система радиаторного отопления*  
Термальное загрязнение окружающей среды 215  
Термоизоляция 78, 102  
Термопара 40  
Термостат 40



Термоядерная электростанция  
 недостатки 271  
 преимущества 270  
 принцип действия 269–270  
 Термоядерный космический  
 корабль 192–195  
 недостатки 199  
 преимущества 198  
 принцип действия 197–198  
 Термоядерный реактор 193  
 Тетраэтилсвинец 125  
 Ток в высоковольтной линии  
 электропередач 205  
 Ток насыщения 273  
 Токамак 266  
 Топливный бак системы  
 отопления на солярке 36  
 Топливный элемент 167–171  
 для подзарядки  
 аккумуляторов 169  
 для производства  
 электроэнергии 301–305  
 определение 167  
 с протонно-обменными  
 мембранами 168  
 «Топливо со свинцом» 116  
 Торнадо 110, 259  
 Торф 23  
 Точка замерзания 10, 49, 52, 61  
 Точка кипения 10, 50, 51, 61  
 Традиционное топливо ракетных  
 двигателей 127  
 недостатки 131  
 преимущества 131  
 принцип действия 130

Традиционное топливо  
 реактивных двигателей 124–127  
 недостатки 126  
 преимущества 126  
 принцип действия 125  
 Тритий 190, 266, 270  
 Трубопровод 36  
 Турбореактивный двигатель  
 (ТРД) 125  
 Тягодутьевое устройство 30

## У

Увлажнитель воздуха 99, 100  
 Угледороды 115  
 Углеродный цикл —  
 см. *круговорот углерода*  
 Угловая скорость 182  
 Угольная печь 22–25  
 недостатки 24–25  
 преимущества 23–24  
 принцип действия 22–23  
 Узел, как единица измерения  
 скорости ветра 239  
 Ультраконденсатор —  
 см. *конденсатор с двойным  
 электрическим слоем*  
 Ультрафиолетовое (излучение)  
 271  
 Ураган 78, 213  
 Уран  
 как химический элемент 256  
 распад 257–258  
 Уран-234 257  
 Уран-235 258  
 Уран-238 257



## Предметный указатель

Уровень грунтовых вод 109  
Уровень электростатического заряда 306  
УФ — см. *ультрафиолетовое (излучение)*

### Ф

Фаза 207  
Ферромагнетизм 179  
Ферромагнетик (ферромагнитный материал) 179  
Фильтр 107, 108  
Флюгарка 245  
Форд, Генри 141  
Формальдегид 139  
Формула Эйнштейна 263  
Фотосинтез 296  
Фотоэлектрическая батарея — см. *солнечная батарея*  
Фотоэлектрическая панель — см. *солнечная панель*  
Фотоэлектрическая ячейка — см. *фотоэлемент*  
Фотоэлектрическая ячейка — см. *фотоэлемент*  
Фотоэлектрический модуль 214  
Фотоэлемент 98, 271, 274–275  
Франклин, Бенджамин 305  
ФЭ — см. *фотоэлемент*

### Х

Химический элемент 255  
Хладагент 62  
Хлорат калия 129

Хлорат натрия 129  
Хлорфторуглерод 69  
ХФУ — см. *хлорфторуглерод*

### Ц

Центральное отопление на резистивных элементах 57–60  
Центробежный регулятор 40  
Цепная реакция 258  
Циклоалкан 116  
Цилиндрический никелевый элемент 153

### Ч

Черный порошок как ракетное топливо 129  
Четырехокись азота 128  
Четырехтактный двигатель 118  
Четырехцилиндровый двигатель 118

### Ш

Шаг лопасти ветряной турбины 246  
Шестицилиндровый двигатель 118  
Шлак 20, 21  
Шлюз 231, 232, 234, 235  
Шнек 17, 21, 25

### Э

Экваториальная монтировка 276  
Эксплуатационная скважина 292  
Электрический запальник 40



- Электрический изолятор 305
- Электрический тепловой насос 64–69
- Электрический ток 59, 163, 182, 219
- Электрическое поле 305, 306
- Электродвигатель 217–222,
- Электролиз 163, 164
- Электролит
  - в никелевых аккумуляторах 154
  - в свинцовых аккумуляторах 152
- Электромагнит 179–185
- Электромагнитные волны 268
- Электрохимические системы обратной связи 177
- Электромобиль 151–158
  - на никелевых аккумуляторах 153
  - на свинцовых аккумуляторах 152
  - недостатки 158
  - преимущества 157
  - принцип действия 151–152
- Электромотор 17, 159, 160
- Электрон 257
- Электрообогреватель 91, 92, 95
- Электростанции на биомассе 299–301
  - недостатки 300–301
  - преимущества 300
  - источники энергии 296–297
- Электростанции на нефти 209–213
  - недостатки 212
  - преимущества 212
  - принцип действия 209
- Электростанции на угле 203–208
  - недостатки 208–209
  - преимущества 208
  - принцип действия 203–205
- Электростанции смешанного цикла 210
- Электростанции на метане 213–216
  - недостатки 216–217
  - преимущества 216
- Энергетическая плотность 188
- Энергия, единицы измерения 9–10
- Этанол из микроскопических водорослей 141
- Этанол из сахарного тростника 141
- Этанол как топливо для двигателя 140–144
  - недостатки 144
  - преимущества 143–144
  - принцип действия 142–143
  - производство 141–142
- Этаноловые добавки в бензин 144
- Этерификация при производстве биодизеля 145
- Этерификация разбавленной кислотой 146
- Этиловый спирт — см. *этанол*
- Эфиры 145
- Эффект Мейснера 180
- Эффективное значение напряжения 53



## Предметный указатель

### Ю

Южное полушарие 278

### Я

Ядерная электростанция 258—  
262

Недостатки 261

преимущества 261

принцип действия 260

Ядерное топливо 258

Ядерный распад 257

как источник топлива для  
ионной ракеты 190

как источник топлива для  
океанических судов 186

урана 187—188

Ядерный реактор 186, 259

Ядерный терроризм 189, 261

Ядерный шантаж 189, 261

Ядро атома 187

Научно-популярное издание

БЕЗ ТАЙН

**Стэн Гибилиско**

**АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА БЕЗ ТАЙН**



# АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

## ИЗ КНИГИ ВЫ УЗНАЕТЕ:

О гидро- и теплоэнергетике |  
О двигателях на всех видах  
топлива, как обычных, так и  
необычных | Об экзотических  
силовых установках | Об атомной  
и солнечной энергетике | О том,  
что ждет нас через 50 и 100 лет |  
Об удивительных способах  
получения электрической  
энергии



Отныне любой, кого интересуют вопросы энергетики, сможет в них разобраться. Книга «Альтернативная энергетика без тайн», которую вы держите в руках, позволит вам узнать, что придет на смену гидро- и теплоэнергетике, опасны ли атомные электростанции и насколько выгодно создавать автомобили, едущие на биотопливе. Вы совершите экскурс в историю этого вопроса и узнаете о самых современных проблемах, от решения которых может кардинально измениться наша жизнь. В результате вы станете вполне квалифицированно разбираться в проблемах энергетики. Вы легко сможете провести ряд тестов после

«Без тайн» –  
ваш навигатор  
в мире науки

БЕЗ ТАЙН

интернет-магазин

OZON.ru



28946303

ПУТЕВОДИТЕЛЬ

автомобилисто