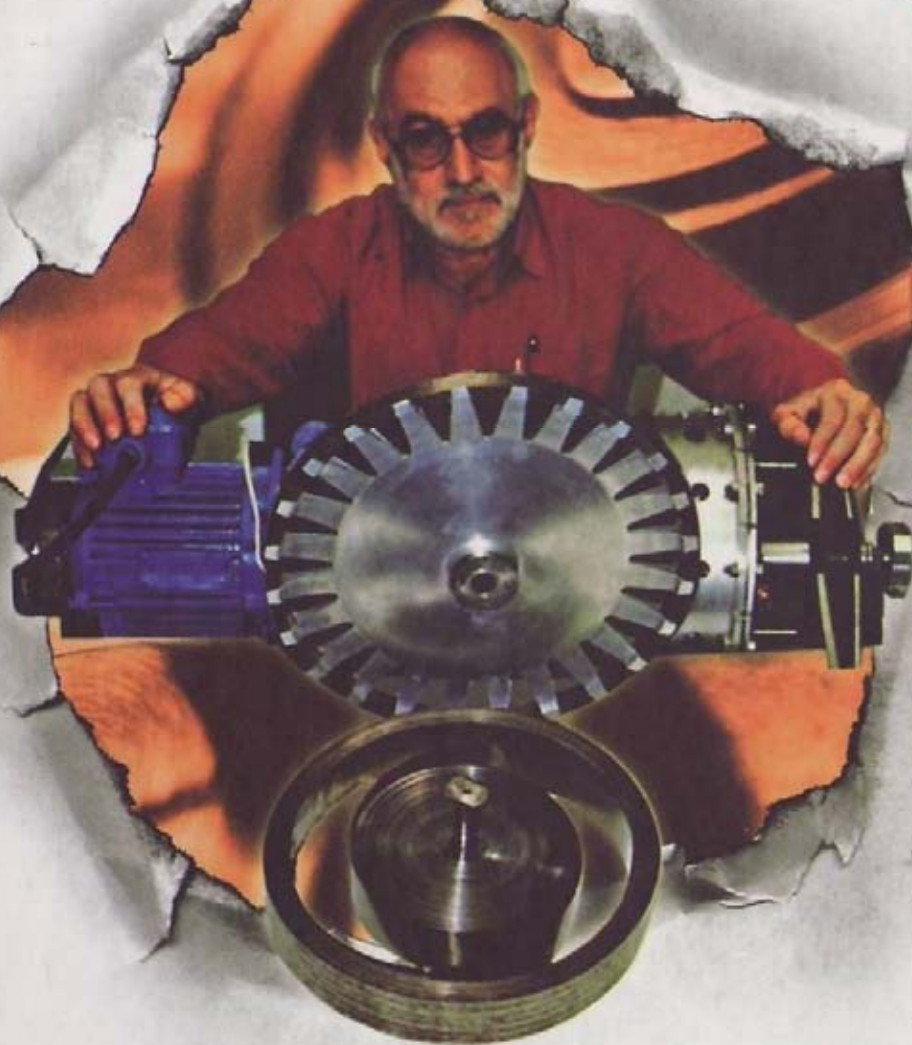


О чем умолчали  
учебники

Н. В. Гулиа

УДИВИТЕЛЬНАЯ



МЕХАНИКА

О чем умолчали  
учебники

Н. В. Гулиа

# УДИВИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

В поисках «энергетической капсулы»

Москва  
«Издательство НЦ ЭНАС»  
2006



УДК 531  
ББК 22.213  
Г94

**Гулиа Н. В.**  
**Г94** Удивительная механика. В поисках «энергетической капсулы». — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. — 176 с. — (О чем умолчали учебники).

**ISBN 5-93196-591-2**

Нурбей Владимирович Гулиа — профессор, доктор технических наук, рассказывает в своей книге о работе над созданием эффективного накопителя энергии — «энергетической капсулы», которая позволила бы действительно по-хозяйски, бережно использовать энергию, даваемую нам природой. Книга должна помочь молодому читателю найти свой путь самореализации в изобретательском творчестве, без которого невозможно решение ни одной научно-технической задачи, тем более в таких важных областях экономики, как энергетика и транспорт.

**УДК 531  
ББК 22.213**

Учебное издание

**Гулиа Нурбей Владимирович**  
**Удивительная механика**

---

**В поисках «энергетической капсулы»**

Ведущий редактор *И. А. Монахова*  
Редактор *М. П. Забокрицкий*  
Технический редактор *Ж. М. Голубева*  
Дизайн обложки *О. В. Лазаревой*  
Оформление серии *Е. Г. Земцовой*  
Компьютерная верстка *С. Ю. Ромашенковой*  
Корректоры: *В. Д. Четверикова, Т. И. Иванова*

Подписано в печать 1.09.2006. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага офсетная.  
Гарнитура Ньютон. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 11,0. Уч.-изд. л. 11,1.  
Тираж 10 000 экз. (1-й завод 1—5000 экз.). Изд. № 427. Заказ № 3273.

ЗАО «Издательство НЦ ЭНАС», 115114, Москва, Дербеневская наб., д. 11,  
Бизнес-центр «Полларс», корп. Б.  
Круглосуточный многоканальный тел./факс (495) 221-19-51.  
E-mail: [adres@enas.ru](mailto:adres@enas.ru) <http://www.enas.ru>

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО «Ордена Октябрьской Революции,  
Ордена Трудового Красного Знамени «Первая Образцовая типография».  
115054, Москва, ул. Валовая, д. 28.

**ISBN 5-93196-591-2**

© Н. В. Гулиа, 2005  
© ЗАО «Издательство НЦ ЭНАС», 2005

## Оглавление

От редакции .....	5
Об этой книге .....	7
<b>Начало мечты .....</b>	<b>9</b>
<b>Энергетические искушения .....</b>	<b>13</b>
Поднять, растянуть, накачать? .....	13
Задача, потруднее буридановой .....	13
Груз и струна .....	18
Резина побеждает сталь .....	22
Энергия... в воздухе! .....	26
В помощь воздуху — масло .....	29
<b>«Капсула» разогревается .....</b>	<b>32</b>
Тепловой «банк» .....	32
Секреты плавления .....	35
Что может тепловая «капсула» .....	37
Кое-что об энергии и работе .....	41
Тепловая смерть и «демон Максвелла» .....	42
<b>Электрическая «капсула» .....</b>	<b>47</b>
Как накопить электроны? .....	47
«Капсулу» — в жидкий гелий .....	51
Плюс химия .....	56
Электромобили .....	64
Водородные генераторы .....	68
Неразгаданная тайна шаровой молнии .....	71
<b>Держу мечту! .....</b>	<b>76</b>
<b>Мечте — 5500 лет! .....</b>	<b>76</b>
Метеорит на привязи .....	76
Открытие древнего гончара .....	77
В поисках серьезной работы .....	79
Маховик берется за дело .....	82
Маховик перебирается на транспорт .....	85

<b>Вот она, моя «капсула»!</b> .....	93
Быстрее крутить нельзя .....	93
Одним выстрелом — двух зайцев .....	96
Далеко ли предел? .....	100
Мои изобретательские злоключения .....	103
<b>Как отобрать энергию?</b> .....	107
Трудности «жизни» в вакууме .....	107
Возможен ли «мягкий» маховик? .....	115
Без вариатора — не обойтись! .....	120
Тайны вариаторов .....	122
Как удалось «подковать» немецкий вариатор .....	126
Супервариатор .....	129
<b>«Капсулу» — в упряжку!</b> .....	132
<b>Легко сказка сказывается...</b> .....	132
Небольшая экскурсия в молодость .....	132
Работает супермаховик .....	134
«Капсула» разрастается .....	141
На позициях сотрудничества .....	146
<b>Спасительные гибриды</b> .....	149
Что такое «рекуперация»? .....	149
Каков КПД автомобиля? .....	153
Супермаховик и супервариатор в помощь двигателю .....	156
Мифы и правда об электромобиле .....	159
Новая концепция электромобиля .....	162
Трудности производства (шуточный рассказ) .....	164
Гибридные автомобили современности .....	167
<b>Если хочешь быть счастливым...</b> .....	171



## От редакции

Проблеме создания совершенного накопителя энергии, образно названного автором «энергетической капсулой», посвящены сотни научных трудов и десятки книг Нурбея Гулиа — ученого, чьи работы получили признание как в России, так и за рубежом.

Энергетика всегда была и остается приоритетным направлением науки и техники, а накопители энергии — важным и перспективным разделом энергетики. Эффективное накопление энергии «впрок» должно обеспечить такой же революционный скачок в энергетике, как банковское дело в экономике. Пока же, к сожалению, о сохранении энергии про запас серьезно говорить не приходится. Автор — один из тех энтузиастов накопительной энергетики, кто в своих книгах не только настойчиво об этом говорит, но и постоянно доказывает делами плодотворность самой идеи, которой он, «загоревшись» еще в юношеские годы, остается верным по сей день. Самое же удивительное то, что большинство сложных проблем создания «энергетической капсулы» автор решил, хотя бы принципиально, именно в юности и ранней молодости. Решения эти оказались настолько новыми и полезными, что на многие из них были выданы патенты и в современной технике они активно используются.

Создатель знаменитой системы ТРИЗ — теории решения изобретательских задач — Г. С. Альтшуллер в самом начале своей книги «Найти идею» подчеркивает, что изобретателю-творцу для его творчества нужна достойная цель. И тут же приводит пример, имеющий непосредственное отношение к нашей книге: «Пятнадцатилетний школьник Нурбей Гулиа решил создать сверхъёмкий аккумулятор. Работал в этом направлении более четверти века. Пришел к выводу, что искомый аккумулятор — маховик; начал делать маховики — своими силами, дома. Год за годом совершенствовал маховик, решил множество изобретательских задач. Упорно шел к цели (один штрих: авторское свидетельство № 1048196 Гулиа получил в 1983 году по заявке, сделанной еще в 1964 году, — 19 лет борьбы за признание изобретения!). В конце концов Гулиа создал супермаховики, превосходящие по удельной запасаемой мощности все другие виды аккумуляторов».

А вот уже нынешний итог творческой деятельности автора нашей книги, который подводит журналист Б. Гармаев в журнале «Компьютерра» за июнь 2004 года в статье, посвященной реализации творческих решений Нурбея Гулиа, задуманных им еще в юности:

«Сегодня неутомимый профессор живет и здравствует, и 65 лет возраста ему не мешают заниматься штангой и моржеванием, но самое главное — творить и претворять свою мечту в реальность. Ученики Гулиа востребованы в странах Запада, сам же профессор остается на родине и продолжает попытки внедрения своих изобретений в России. Тем временем в Америке и Европе уже выходят на дороги автомобили с маховичными накопителями и бесступенчатыми вариаторами, возводятся инерционные хранилища энергии, реализуются и приносят прибыль идеи Нурбея Гулиа».

Здесь мы можем только добавить, что наш автор и сам активно сотрудничает как с Западом, так и с Востоком: он реализует свои изобретения в Германии и Австралии.

Мы полагаем, что нашим читателям будет полезно ознакомиться с книгой изобретателя и ученого, правдиво и критично описавшего свой творческий путь к поставленной цели. Этот путь, возможно, предстоит еще пройти нашим читателям, чтобы успешно реализовать себя в жизни. Стать «энергетическим банкиром», «хранителем, властелином энергии», а попросту создателем новых систем энергетических «банков», способных накапливать энергию, — неплохой способ самореализации для современного талантливое молодого человека. Ведь энергия будет постоянно дорожать, и не угнаться за ней ни золоту, ни деньгам!



## Об этой книге

Проблема накопления энергии — одна из важнейших научно-технических проблем современности. Во всех промышленно развитых странах ведется научный поиск в этом направлении. Еще бы — топлива становится все меньше, энергия дорожает с каждым днем, а накопитель энергии мог бы основательно помочь в ее экономии.

Действительно, сейчас мы используем подавляющее количество энергии в момент ее выработки. А если бы человечество обладало эффективным накопителем энергии, той «энергетической капсулой», которую ищет автор книги, то можно было бы запастись энергией впрок, как бы передавать ее во времени. Трудно переоценить, какие выгоды дало бы человечеству использование «энергетической капсулы». Вместо двигателей на автомобилях стояли бы накопители, запасующие дешевую и экологичную — безвредную для природы — энергию мощных электростанций. Сами электростанции могли бы запасать в огромных накопителях энергию ночью, когда она сравнительно дешевая, и расходовать ее в часы пик. Энергия транспортных машин не переходила бы бесцельно в нагрев тормозов, а, проходя через накопитель, использовалась бы снова и снова. Ведь не секрет, что сейчас около половины энергии, вырабатываемой двигателями городских транспортных машин — автомобилей, автобусов, троллейбусов, поездов метро — бесполезно «гасится» в тормозах. Нетрудно представить, сколько энергии, горючего можно было бы сохранить в этих машинах с помощью накопителя.

Есть и другая сторона этой проблемы: проходя через накопитель, энергия становится как бы экологичнее, безвреднее для окружающей среды. Двигатели транспортных машин работают в этом случае гораздо равномернее, а вредность от отработавших выхлопных газов в несколько раз меньше, чем обычно.

Помимо сказанного, «энергетическая капсула» нашла бы себе применение и в грузоподъемных машинах, и в авиации, и на космических станциях, и на буровых установках, а также во многих и многих других случаях, которые кратко и не перечислить.

Автор книги — профессор, доктор технических наук Н. В. Гулиа еще с юных лет увлекся поиском «энергетической капсулы» и до сих пор, как мне известно, верен этому поиску. Все это он честно и правдиво описывает в своей книге, не скрывая ни ошибок, ни заблуждений. В этой жизненности, наряду с научной достоверностью, основная



ценность книги. Автор рассказывает о своем пути в науку, о своих находках и неудачах, которые, в общем, свойственны любому человеку, ведущему научный поиск.

И «капсула», которую он все-таки находит, — это его детище, о котором автор просто не в силах писать беспристрастно.

Н. В. Гулиа делает вывод о том, что «энергетическая капсула», которую он нашел, — супермаховик. Думается, такая его позиция в данном случае вполне оправданна. Во-первых, он как создатель первой модели супермаховика, естественно, в той или иной мере склоняется в его сторону. А во-вторых, супермаховик объективно не имеет себе равных по перспективам накопления энергии. Если несколько лет назад это признавали только энтузиасты маховиков, то сейчас супермаховик признан всеми специалистами. Исследование этого типа накопителей энергии достаточно широко развернуто и у нас в стране, и за рубежом.

Надо сказать, что автор довольно подробно, с любовью описывает и другие типы накопителей, подчеркивая их достоинства и отмечая недостатки. При этом называет и причины, по которым он не занялся поиском в том или ином направлении, причем причины субъективные, не умаляя объективных достоинств того или иного типа накопителя. Это придает изложению правдивость, так как мы видим живого человека в его поиске, сомнениях, возможно, и в субъективных воззрениях, а не сухую схему.

Я надеюсь, что среди юных читателей этой книги будут и такие, которые проложат свой путь и сделают свои, быть может, совершенно необычные открытия в увлекательном поиске «энергетической капсулы».

Вице-президент РАН, академик *К. В. Фролов*

# НАЧАЛО МЕЧТЫ

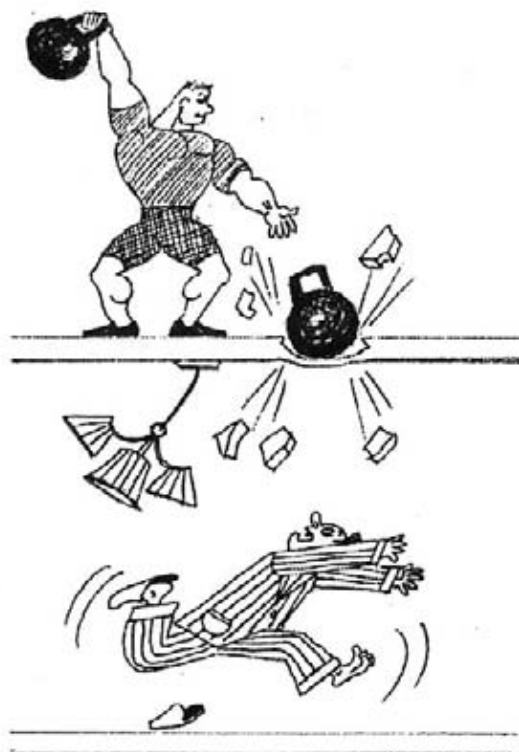


*Автор вспоминает, как он, разочарованный в ряде других занятий, приходит к решению стать энергетическим «банкиром» и посвятить себя поиску «энергетической капсулы» — такого «банка» для хранения энергии, не подозревая о том, каким трудным, но увлекательным делом это окажется, и сколько подводных камней и побед ждет его на этом пути.*

Кто в юности не мечтает совершить выдающееся открытие, сделать ценное изобретение? Кто не хочет удивить современников и остаться в памяти потомков? Кто не хочет, чтобы его называли гением? Вот с этих честолюбивых замыслов и начался мой путь к «энергетической капсуле».

Предыдущие мои попытки поразить мир — то игрой на скрипке, то сочинением стихов — кончались глубоким, почти летаргическим сном слушателей. Домашним занятиям гиревым спортом был положен конец жильцами нижнего этажа, а увлечению химией, из-за взрыва — всеми соседями сразу.

Печальнее всего закончилась для меня попытка обрадовать человечество открытием в области медицины. Создав «чудодейственное» средство от облысения в двух составах, один из которых нужно было втереть в голову, а другой — выпить, я решил испытать его на себе. Побрив голову, я приступил к опыту... И сразу же был доставлен в больницу. Мне казалось, что голова начала переваривать пищу, а в желудке выросла шевелюра. Вероятно, в волнении я перепутал составы.



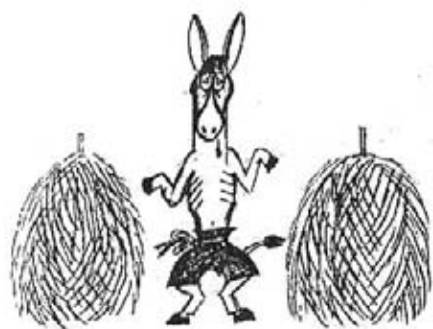
Занятиям гиревым спортом был сразу положен конец соседями снизу



Вопреки ожиданиям врачей я все-таки выжил. И по совету знакомых стал готовить себя в инженеры. Мол, раз таланта нет, единственный выход — в инженеры!

Но так думают все кто угодно, но только не сами инженеры, особенно хорошие. Плохие инженеры, конечно, могут так рассуждать. Это облегчает их трудную жизнь. А я был просто поражен тем простором для поиска интересных идей, который открывала передо мной техника.

Однако простор — это и хорошо и плохо. Хотелось заняться не пустячной, а чрезвычайно важной, «глобальной» проблемой. Начались муки выбора.



Буриданову ослу суждено умереть от голода между двумя одинаковыми и равноудаленными кучками сена

Говорят, якобы французский философ Буридан утверждал, что, если голодного осла поставить на равном расстоянии от двух одинаковых кучек сена, то он умрет от голода — не сможет выбрать, с какой начать. Конечно, обычный живой осел так не поступит, если он не совсем уж «осел».

Я же рассуждал так. Что нужнее всего для существования человечества? Что будет дорожать с каждым днем? Что нельзя заменить ничем другим? Что не потеряет своего значения для людей, даже если они переселятся на другие планеты?

И ответ на все эти вопросы у меня нашелся только один — энергия. Вот она — самая важная субстанция для человечества! Важнее золота, пищи и даже воздуха. Имея энергию, и пищу можно приготовить, и воздух добыть, хотя бы из воды. Но, увы, не наоборот! Стало быть, ею и надо заниматься.

«Загадочный» английский поэт Уильям Блейк так писал об энергии: «Вся жизнь есть энергия, энергия — вечный восторг!» А поэты — они провидцы, пророки, — им верить надо!

Однажды, правда, я уже «обжегся» на энергии, пытаясь построить вечный двигатель. Но желание приручить ее у меня не пропало. Я понимал, что получать энергию, сжигая горючее, по меньшей мере неперспективно. Горючее рано или поздно кончится, и замрут двигатели, тепловые электростанции, пропадет труд, затраченный учеными, инженерами, рабочими на создание этих машин. Я знал, что запасов горючего человечеству хватит ненадолго, особенно нефти. Не успеешь и состариться — а нефти уже нет. Кроме того, топливо, сгорая, сильно загрязняет атмосферу. А мне очень не хотелось вступать в конфликт с природой. Я понимал, что выиграть в этом споре нельзя.



Можно, конечно, получать энергию от поистине вечных и к тому же безвредных для природы источников: огромные, практически неисчерпаемые запасы энергии таят в себе ветер, реки, морские приливы и течения, внутреннее тепло Земли; немалые надежды возлагают ученые и на использование атомной и термоядерной энергии.

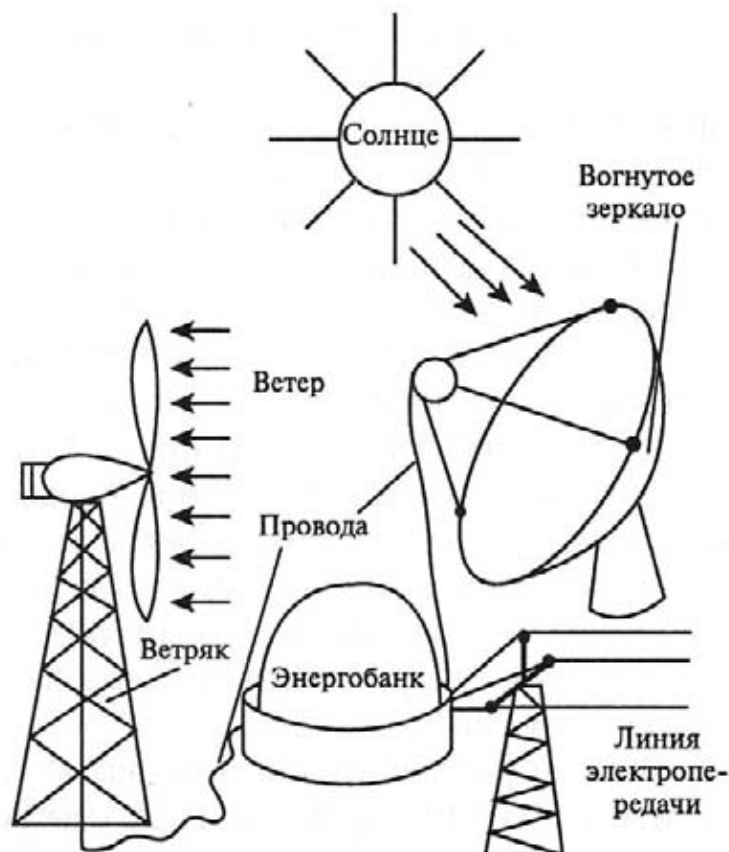
И все-таки самой главной, естественной и вечной «электростанцией» служит для нас Солнце. Это его энергия «законсервирована» в ветре, в течениях рек и океанов, в том же горючем. Солнце посылает нам энергию независимо от

того, хотим мы этого или нет. Так давайте же воспользуемся ею! Правда, надо еще суметь это сделать!

Словом, энергии вокруг нас — хоть отбавляй. Но смогли бы мы использовать это море энергии, если бы не научились передавать ее на расстояние, по проводам?

Трудно даже вообразить, что бы мы все делали без электроэнергии, передаваемой на расстояние. Пришлось бы вырабатывать энергию на том же месте, где запланировано ее использование. Наши квартиры освещались бы свечами, отапливались печами. А в гости мы ездили бы на лошадях или паровиках...

Впрочем, сегодняшние автомобили в этом отношении не ушли далеко от своих предков — паровиков. Ведь энергия вырабатывается их двигателем из горючего непосредственно в самом автомобиле. Насколько он отстал, этот маленький автомобильный двигатель, не только от солнечной или атомной электростанции, но даже от обыкновенной тепловой — ТЭС! Он куда более дымный, шумный, прожорливый. Если, конечно, сравнивать все эти качества при одном и том же количестве вырабатываемой энергии.



Экологические источники энергии не всегда вырабатывают ее тогда, когда она нужна; «банк энергии» позволяет накапливать и выдавать энергию всегда вовремя

А использовать дешевую и безвредную энергию электростанций на автомобилях нельзя — не привязывать же автомобиль к станции проводами! Тракторы, комбайны, самолеты и многие, многие другие машины постигла та же участь, что и автомобили, — им самим приходится «добывать» для себя энергию, хотя это совсем невыгодно.

Значит, надо научиться передавать энергию без проводов, вроде как по радио. Да и дело не только в этом. Выработка и потребление энергии далеко не всегда совпадают по времени. Днем светит Солнце — пожалуйста, используй его энергию. А наступил вечер — откуда ее взять для освещения? Работает крупная электростанция, освещает город. Вечером нагрузка на нее огромна — в каждом окне горит свет. Ночью свет погашен — ну и что! Не останавливать же из-за этого станцию!

У автомобиля тут преимущество: не нужно ехать — выключаешь двигатель. Но хорошо ли это? Двигатель должен работать, а не стоять и ржаветь. А куда девать его энергию, если автомобилю она в это время не нужна?

Выходит, недостаточно передавать энергию на расстояние, даже если это делать без проводов. Надо еще уметь «переносить» ее во времени! Консервировать, как пищу, копить, как деньги в банке! Тогда все проблемы обеспечения людей энергией будут решены.

Вот это задача, ею стоит заняться!

И я решил изобрести, как я ее назвал для себя, «энергетическую капсулу», которую можно было бы «заряжать» энергией, а затем использовать как бензобак. В отличие от бензобака, в моей «капсуле» должна накапливаться исключительно безвредная для человека энергия. И не так мало, как в автомобильных аккумуляторах, а столько, сколько, например, в том же бензобаке. Ведь не секрет, что в тяжелом автомобильном аккумуляторе содержится энергии не больше, чем в рюмке бензина... И я захотел стать обладателем самого ценного в мире богатства — энергии! Имея «энергетическую капсулу», я стану всесильным энергетическим «банкиром» человечества, подлинным «властелином энергии»!

Итак, поиск «энергетической капсулы» — накопителя энергии — начался.



# ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИСКУШЕНИЯ



## Поднять, растянуть, накачать?

*Автор пытается разобраться, что же, собственно, он хочет найти, а затем ищет это в часах-ходиках, гитарных струнах, пружинах, резине, воздухе и других газах...*

### Задача, потруднее буридановой

У буриданова осла было только две кучки сена, и то он не мог сделать выбор. А тут — попробуй выбери подходящую основу для «энергетической капсулы». Ведь существует немало всяких накопителей или аккумуляторов энергии, о которых я, к сожалению, имел тогда довольно смутное представление.

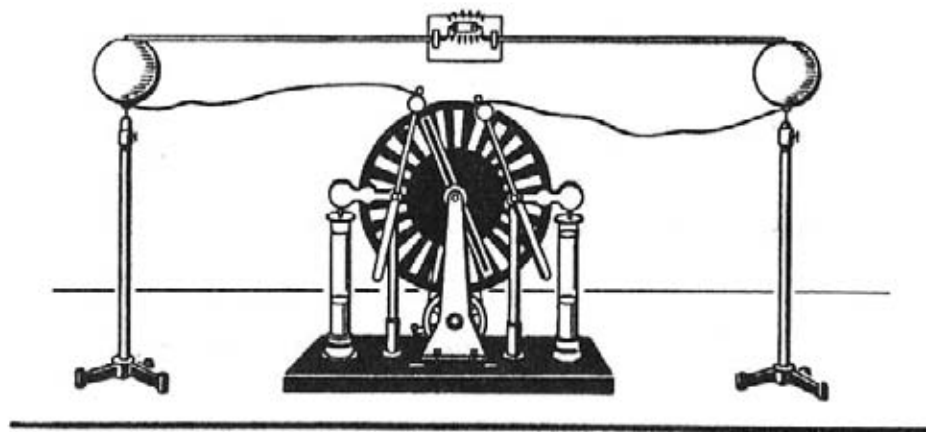
Чтобы определить аккумулятор, который имеет шансы стать «капсулой», я стал выяснять, каким образом различные аккумуляторы запасают энергию. Мне казалось, что «свежему» человеку в этом легче разобраться, чем специалисту, который занимается каким-либо одним аккумулятором.

Когда человек чего-нибудь совершенно не знает и хочет получить хотя бы общую справку, ему советуют заглянуть в энциклопедию. В Малую или Большую. А если нужно проследить что-то с самого начала, то нет ничего лучше старинного энциклопедического словаря Брокгауза и Ефрона. Открыв золоченый том этой ценнейшей книги 1890 года издания на слове «аккумулятор», я прочел: «Так называются в машиностроительном деле приборы для накопления механической энергии. Изобретены они Армстронгом и основаны на постепенном поднятии на высоту большого груза или на сильном сжатии воздуха».

Энциклопедии последующих выпусков сообщили мне, что аккумулятором вообще называется «устройство для накопления энергии с целью ее последующего использования» и что аккумуляторы бывают электрические, тепловые, механические, в том числе изобретенные Вильямом Армстронгом. После каждой статьи об аккумуляторах были помещены ссылки на книги и другие источники, в которых этот вопрос излагается подробно.

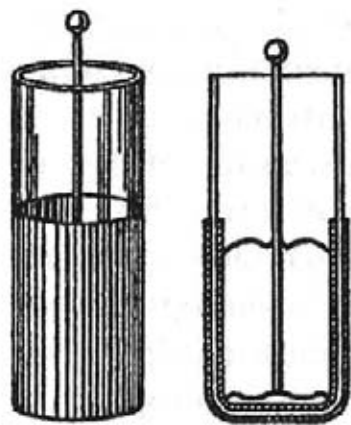


Все! Конец ниточки был у меня в руках, и, потянув за него, я уже мог размотать весь «аккумуляторный клубок». Однако меня смутило определение понятия «аккумулятор» в энциклопедии. Получалось, что аккумулятор и задуманная мной «энергетическая капсула» — это совсем не одно и то же.



Электрическая, или электрофорная, машина

«Устройство для накопления энергии с целью ее последующего использования...» Я вспомнил школьные опыты с электрической машиной. Мы крутили большой стеклянный диск, трущийся о кожаные подушки, а затем извлекали из заряженных шаров или так называемых лейденских банок (и то и другое — конденсатор) яркие искры. Вращая диск, мы накапливали энергию, а извлекая искры из шара или лейденской банки, использовали ее. Как будто это устройство подходит под определение «аккумулятор», но что-то подсказывало мне, что электрическая машина — не аккумулятор. Ведь заряжали мы электричеством только шар или лейденскую банку, именно они накапливали энергию. А стеклянный диск, трущийся о подушки, служит для преобразования механической энергии вращения в электроэнергию, он не имеет к аккумулярованию никакого отношения. Такие устройства для преобразования энергии в энциклопедии называются «машинами».



Лейденская банка — первый конденсатор

Значит, аккумуляторы-накопители здесь — шар или лейденская банка, а все устройство, включая и диск с подушками, — это не аккумулятор, а машина, электрическая машина.

Выходит, аккумулятор должен выделять энергию в том виде, в каком она была в него «заложена». Тогда он будет хранилищем энергии, «энергетической капсулой». А если форма энергии изменяется, это уже не аккумулятор,

а машина. Если мы кладем на сберкнижку рубли, то рубли с нее и получаем. Действительно, сберкнижка — «аккумулятор» денег. Но допустим, что мы положили туда рубли, а получили, например, монгольские тугрики на ту же сумму. Тогда сберкнижка — уже не аккумулятор денег, а самый настоящий обменный пункт. Видимо, и энциклопедиям не всегда можно доверять, их тоже люди пишут. Хорошо, лейденская банка — уж точно аккумулятор энергии. И потомки лейденской банки — конденсаторы, без которых не обходится ни один радиоприемник или телевизор, — тоже аккумуляторы.

Порывшись в памяти, я заключил, что наряду с конденсаторами электроэнергию накапливают и катушки-электромагниты. Те самые, которые мы видим и в мощных электромагнитных подъемных кранах, перегружающих металлолом, и в электронных будильниках, я уж не говорю о том, что в каждом приемнике или телевизоре их десятки.

Правда, в конденсаторах энергия накапливается в виде электрического заряда, а в электромагнитах — в виде магнитного поля вокруг катушки.

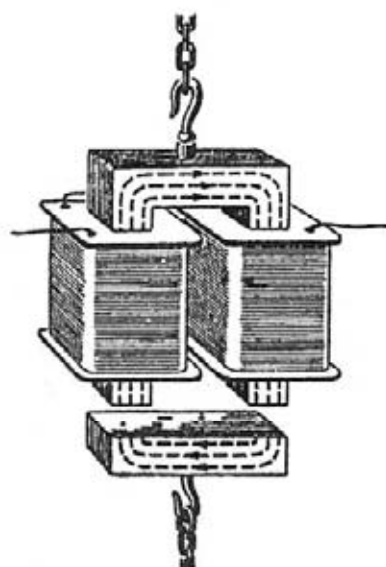
И уж конечно, к накопителям энергии относится всем нам известный автомобильный электроаккумулятор. Вроде бы больше нет других устройств, которые могли бы накопить электроэнергию.

Позвольте, а электроутюг или электроплитка?

Подумав об утюге, я все-таки решил, что накапливает он не электричество, а тепло. Тепло переходит в утюг от раскаленной спирали или другого нагревательного элемента, питаемого электротоком: электроэнергия в спирали — преобразователе энергии — превращается в тепловую энергию, а последняя накапливается в металлической массе утюга. То же самое происходит и в электроплитках, а также любом другом электронагревательном приборе.

Но лучше всего проявляются теплоаккумулирующие свойства в обыкновенном чугунном утюге, разогреваемом на газе. Тепло от газового пламени переходит в металл утюга и довольно долго в нем сохраняется.

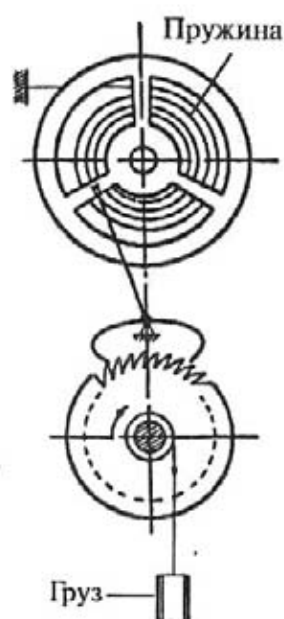
Стало быть, утюги, грелки и другие устройства, накапливающие тепловую энергию, можно отнести к аккумуляторам тепла.



Электромагнит — индукционный накопитель энергии



Какая еще форма энергии осталась «не охваченной» накопителями? Электроэнергия есть, тепловая тоже. Осталась, пожалуй, самая привычная — механическая энергия. Оказывается, поддается накоплению и она, причем каждый из нас является хозяином по крайней



Пружина и поднятый груз в часах накапливают механическую потенциальную энергию

мере одного накопителя механической энергии — часовой заводной пружины. Конечно, речь идет о тех, кто носит механические, а не электронные часы. В механических часах целых два пружинных аккумулятора — заводная пружина и пружинка балансира. А если эти часы — будильник, то добавляется еще и пружина боя или звонка. Многие приборы работают на энергии пружин. Заводные игрушки, механические бритвы тоже питаются этой энергией.

Неплохой накопитель механической энергии — резиномотор, часто применяемый на летающих моделях. Я строил такие модели и даже пытался усовершенствовать их, устанавливая вместо резиномотора металлическую пружину, но, к моему удивлению, модели сразу же «разучивались» летать. Где-то я читал, что подобные модели с пружинами и воздушными винтами строил еще М. В. Ломоносов, но и у него они не взлетали. И как будто эти неудачи на некоторое время скомпрометировали идею создания летательного аппарата тяжелее воздуха. Жаль, что в то время Ломоносов не мог построить резиномотор!

На этом же свойстве резины накапливать энергию построены рогатки. В детстве я, как и многие мои сверстники, очень любил мастерить рогатки и метко стрелял из них. Помню, однажды я выиграл спор с товарищем, «расстреляв» из рогатки те подвижные мишени в тире, в которые он не смог попасть из пневматического ружья.

Правда, пневматическое ружье стреляло гораздо дальше моей рогатки, потому что сжатый воздух, который гнал пулю по стволу ружья, был гораздо «сильнее» резиновой ленточки. Отсюда я сделал вывод, что сжатый воздух как накопитель механической энергии очень и очень неплох. Молодец Армстронг, придумавший этот вид аккумулятора!

Я знал, что механическую энергию можно накопить и во вращающихся маховиках. Были у меня инерционные игрушечные автомобили: их надо было сначала поводить по столу, а потом они могли метр-два

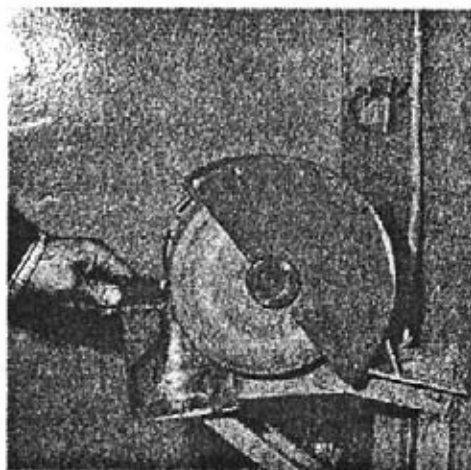


проехать сами. То есть не сами по себе, а за счет энергии, накопленной в небольшом маховике внутри игрушки. Не раз видел я точильные круги, которые после выключения мотора еще долго вертелись за счет накопленной в них кинетической энергии, и на них в это время даже можно было точить ножи.

Признаться, поначалу я не очень верил в аккумулирующие возможности маховиков. Мой игрушечный маховичный автомобильчик проходил гораздо меньшее расстояние, чем заводной. К тому же, я однажды стал свидетелем — каких бед способен наделать разорвавшийся на ходу точильный круг, когда его осколки ломают все на своем пути. И я представил себе, что могла бы натворить «энергетическая капсула» с огромным запасом энергии, разорвись она, как этот точильный круг..

Вот, пожалуй, и все формы энергии, за исключением световой. Можно, конечно, как это ни покажется странным, накопить и световую энергию. Многие мои товарищи увлекались такими накопителями, даже не подозревая, что это и есть накопитель. Я имею в виду светящиеся краски, которыми окрашивают стрелки и цифры приборов, часов, иногда выключатели. Если их предварительно осветить, то потом они долго выделяют накопленную световую энергию, «горя» различными цветами. Краски эти, называемые кристаллофосфорами, очень интересно готовить самому. Я тоже их готовил, любовался сказочно красивым сиянием в темноте. Но все-таки мечтал создать «энергетическую капсулу» не для световой энергии, а для такой, которая могла бы питать автомобили и другие машины.

В итоге я наметил для себя следующие виды накопителей, из которых надлежало выбрать свой, лучший, чтобы работать над ним в дальнейшем: устройства, накапливающие механическую энергию, — поднятого груза, растянутой пружины или резины, а также сжатого газа (сюда же я отнес и маховики, накапливающие при вращении кинетическую энергию); устройства, накапливающие электрическую энергию, — конденсаторы, электромагнитные катушки и электроаккумуляторы, наподобие тех, что стоят на автомобилях; устройства, накапливающие тепловую энергию от различных нагретых тел.



Вращающийся точильный круг накапливает механическую кинетическую энергию

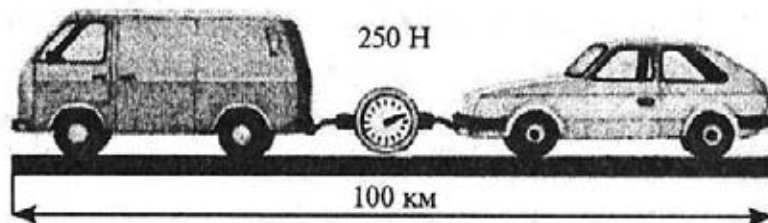


## Груз и струна

Для того чтобы сравнивать между собой аккумуляторы различных типов, я должен был выбрать какую-нибудь меру, или, как говорят ученые, критерий для их оценки. Можно сравнивать накопители по цене, экономичности, сложности, удобству и многим другим качествам. Но я хотел, чтобы моя «энергетическая капсула» была установлена прежде всего на автомобиле, а поэтому и сравнивать накопители решил применительно к автомобилю. На автомобилях же источником энергии для движения служит топливо, сгорающее в двигателе. И обычно говорят: «Расход топлива в таком-то автомобиле столько-то литров на 100 км пробега». Этот способ оценки автомобилей по расходу топлива на 100 км пути стал общепризнанным. Что ж, зачем искать новую меру для сравнения накопителей, когда достаточно хороша и старая. От добра, как говорится, добра не ищут. Только уж очень неудобно оценивать накопители энергии в литрах, лучше в килограммах.

В общем мерой для сравнения я принял массу в килограммах такой «энергетической капсулы», которая позволит автомобилю средней величины, например массой в 1 т, проехать путь в 100 км. Дорога при этом должна быть ровной, хорошей, без подъемов и спусков, а автомобиль должен ехать равномерно, с обычной скоростью 60–80 км/ч, без остановок, обгонов, дорожно-транспортных происшествий и прочих приключений. Иначе сравнение будет очень затруднено.

Если подсчитать силу, с которой нужно толкать или тянуть такой автомобиль, то получится около 250 Н. Эта сила была определена так. Автомобиль массой в 1 т привязали буксиром к другому автомобилю, а в буксирное устройство вставили динамометр — измеритель силы, или попросту пружинные весы. При равномерном буксировании со скоростью 60–80 км/ч динамометр показывал 250 Н.



Определение силы сопротивления движению автомобиля и совершенной им работы при прохождении 100 км пути

Работа, которую совершит автомобиль, проехав 100 км, будет равна произведению силы на путь, а именно: 25 000 Н·км. Переведя это в обычные для нас единицы работы — джоули (1 Дж = 1 Н·м), получим 25 млн Дж, или 25 МДж (мегаджоулей).



Значит, мой эталонный накопитель должен иметь запас энергии 25 МДж. Какой из аккумуляторов — механический, электрический или тепловой — окажется «чемпионом» по легкости, тот и будет претендентом на «энергетическую капсулу».

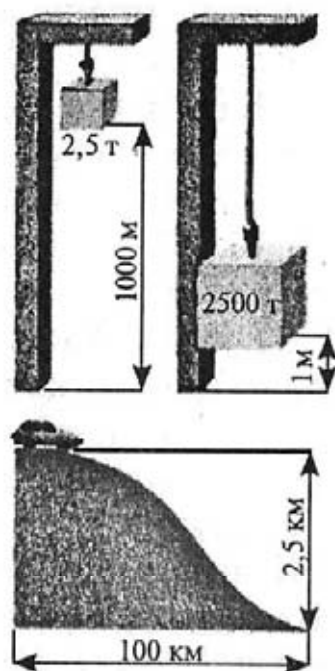
И вот еще что. Для перемещения среднего автомобиля на 100 км, иначе говоря, для совершения работы в 25 МДж, достаточно всего около 10 кг топлива. Это знает любой водитель. Остается прикинуть, что покажут известные мне накопители — больше или меньше 10 кг?

Чтобы аккумулятор Армстронга мог запасти 25 МДж энергии в виде поднятого груза, надо поднять 2,5 т груза на высоту 1 км, либо 2500 т на высоту 1 м. Для автомобиля, разумеется, больше подходит вторая высота, но куда девать 2500 т груза? Что и говорить, неудобный аккумулятор! Его и на автомобиле не разместишь, разве что поднять машину на 2,5-километровую высоту. Тогда она сама станет аккумулятором энергии. Спускаясь с этой «горы», автомобиль сможет пройти без двигателя необходимые 100 км за счет энергии, накопленной при подъеме. Но на каждые 100 км пути гор, как говорится, не напасешься. Да и потом не всегда же спускаться, нужно и подниматься когда-то.

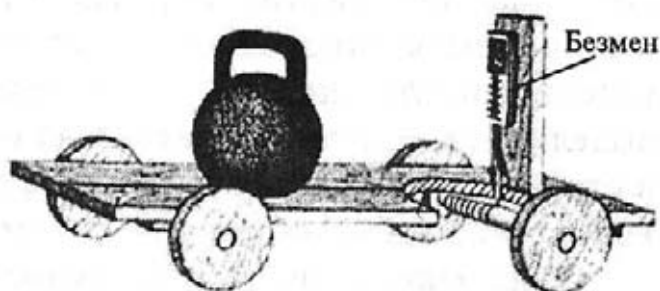
Выходит, поднятый груз из списка претендентов на «капсулу» надо вычеркивать. Пусть он исправно служит, как и раньше, в часах-ходиках.

Следующим накопителем энергии в моем списке была пружина. Прямо скажу: пружины меня очень заинтересовали, тем более что, как я слышал, были в свое время пружинные колесницы, на которых коронованные особы совершали свой торжественный выезд. Нельзя ли автомобили приводить в движение энергией заводной пружины?

На глаза мне попались пружинные весы, или безмен. «Что, если попробовать сделать тележку, движущуюся под действием энергии, накопленной в безмене?» — подумал я. И, увлеченный этой идеей, тут же принялся



Эквиваленты работы в 25 МДж



Пружинная тележка — «безменовоз»



за постройку «безменовоза». На простой платформочке с двумя осями и колесами я укрепил безмен, к крючку которого привязал прочную нить. Другой конец нити привязал к одной из осей и, вращая колеса, стал наматывать нить на ось. Чем больший вес показывала стрелка безмена, тем труднее становилось крутить колеса. Это накопленная в пружине механическая энергия стремилась повернуть их в обратную сторону. Растянув пружину на полную длину (у обычных хозяйственных безменов это соответствует 10 кг, или, правильнее, 100 Н), я опустил «безменовоз» на пол. Но перед тем как отпустить колеса, поставил на тележку гирю, чтобы экипаж был потяжелей.

Как только колеса были отпущены, началось выделение энергии пружиной безмена. Сжимаясь до прежнего положения, пружина тянула нить, которая сматывалась с оси и вращала колеса «безменовоза». Разогнавшись, он проехал немалое расстояние, прежде чем остановиться.

Однако недолго я забавлялся своим «безменовозом». Спустя некоторое время руки у меня так устали растягивать пружину безмена, что пришлось отложить тележку в сторону. Да и пора было всерьез поразмыслить над пружинами — на что они способны.

Пружины изготавливают из стальной упругой проволоки. Растягивая пружину, мы как бы раскручиваем проволоку. Если мы чрезмерно растянем пружину, она больше не вернется к прежним размерам — вытянется, испортится. А нельзя ли накапливать энергию, растягивая не пружину, а саму проволочку?

Очень даже можно, и мы это часто делаем, когда играем на струнных музыкальных инструментах.

Взять хотя бы упругую струну на гитаре. Пока струна не напряжена, провисает, сила натяжения равна нулю. Чем больше мы натягиваем струну специальными натяжными устройствами — колками, тем больше сила, с которой струна сопротивляется растяжению: во сколько раз удлинится струна, во столько же раз и растет сила. Наконец струна не выдерживает натяжения и со звоном лопаается.

Звон — это и есть выделение накопленной в струне механической потенциальной энергии. Играя на гитаре, мы, оказывается, только тем и занимаемся, что, натягивая пальцами струны, накапливаем в них потенциальную энергию, а отпуская — даем струнам возможность выделить ее, причем буквально на воздух. Но энергия, накопленная в струнах, не пропадает даром. Переданная воздуху в виде звуковых колебаний, она услаждает наш слух музыкой.

Современная высококачественная проволока, из которой делается музыкальная струна, очень прочная. Проволока сечением 1 мм<sup>2</sup> может

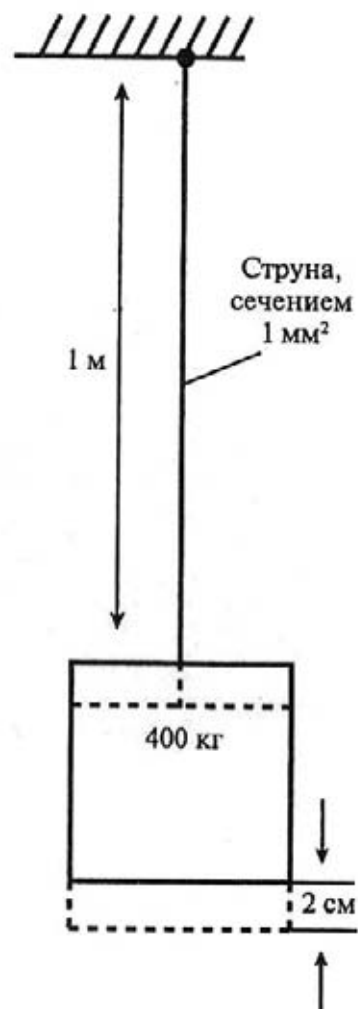


выдержать до 400 кг груза. При этом метровая проволока упруго вытянется ни много ни мало на 2 см. Запас потенциальной энергии в такой проволоке будет равен произведению средней силы на удлинение, то есть почти 35 Дж. Объем этой проволоки легко вычислить: он равен всего 1 см<sup>3</sup> при массе около 8 г.

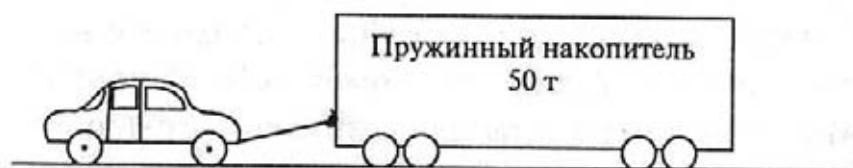
Если мы поделим энергию на массу, то получим весьма важный показатель для оценки аккумуляторов — удельную энергоемкость, или плотность энергии. Этот показатель характеризует, сколько энергии может накопить каждый килограмм массы аккумулятора. Я постарался как следует запомнить его, так как понимал, что он очень пригодится мне в дальнейшем. А пока выяснил, что для музыкальной струны он составляет около 4000 Дж/кг, или 4 кДж/кг.

Крупный концертный рояль, например, накапливает в своих струнах столько энергии, что ее хватило бы на то, чтобы рояль переместился на несколько десятков метров! Правда, для облегчения «хода», его пришлось бы поставить на велосипедные колеса. А чемпионом в такой поездке на энергии натянутых струн была бы, пожалуй, арфа. Струн у нее почти столько, сколько у рояля, но во сколько раз меньше масса!

Конечно, музыкальная струна — это уникальный дорогой материал. Для обычных стальных пружинных материалов плотность энергии снизится более чем вдвое. Учитывая неравномерность напряжения пружинного материала, а также делая поправку на необходимый запас прочности, я подсчитал, что каждый килограмм пружины способен накопить не более 0,5 кДж энергии. Значит, автомобилю массой в 1 т для прохождения 100 км пути потребуется пружинный аккумулятор массой 50 т!



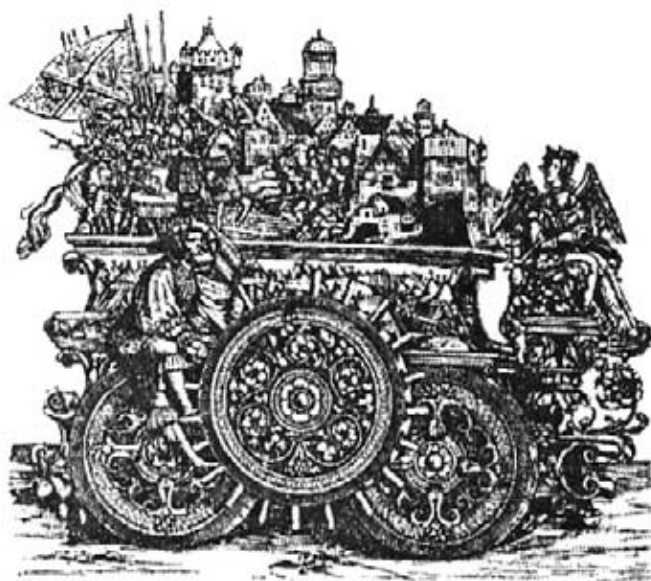
Музыкальная струна, растягиваясь под нагрузкой и накапливая энергию, может удлиниться почти на 2 %



Пружинный накопитель для легкового автомобиля будет весить около 50 т



А как же все-таки передвигались старинные королевские пружинные экипажи, один из которых можно видеть на гравюре великого немецкого художника Альбрехта Дюрера? Позже в одной из книг



Пружинный «королевский» экипаж  
Альбрехта Дюрера

я прочитал, что их постоянно «подзаводили» сильные работники, хорошо замаскированные среди золоченого великолепия экипажей. Иначе бы не пройти им и десятка метров. Вот и весь секрет!

Хочу оговориться, что существуют материалы, в основном из сплавов никеля и титана, которые способны удлиняться под нагрузкой раз в 10 больше, чем стальная проволока. Эти так называемые «псевдоупругие» материалы могли бы накопить энергии в несколько раз больше, чем

стальные пружины, если бы не одно «но». Свойство приобретать такие удлинения приходит к данным материалам при температурах, больших, чем в самых жарких саунах и даже римских «термах». Может быть, и «научат» такие материалы работать при комнатных температурах, но когда это будет — неизвестно.

Итак, пружины тоже пришлось пока вычеркнуть. Претендентов на «капсулу» оставалось все меньше и меньше.

## Резина побеждает сталь

Жаль было расставаться с пружинами, но моих надежд они явно не оправдали. Я должен был это предвидеть: из пружины даже рогатки толковой не изготовишь. Когда-то я пытался заменить резиновые жгуты в рогатке на тонкие пружины, намереваясь смастерить «суперрогатку», но получился конфуз. Под смех товарищей «суперрогатка» выплюнула мне камень под ноги. Выходит, не так уж плоха резина и для рогаток, и для резиномоторов. И ведь используется здесь именно свойство резины накапливать энергию.

На первый взгляд кажется: ну что за материал резина по сравнению с прочнейшей проволокой? Но это только на первый взгляд. Проверим все в цифрах. Чтобы вытянуть резиновый жгут сечением



в  $1 \text{ см}^2$  вдвое, нужно приложить силу около 200 Н. Я вычислил это, подвешивая к жгуту различные грузы. А до разрыва хорошая резина из натурального каучука растянется раза в четыре, не меньше.

Экспериментируя с резиновыми жгутами, я заметил, что при растяжении жгута требуется больше силы, чем при его сокращении до той же длины. Я построил графики растяжения и сокращения этих жгутов и заметил, что далеко не вся энергия, затраченная на растяжение, возвращается при сокращении, особенно если растягивать жгут сильно.

Пропадает, а правильнее, переходит в тепло до 30 % накопленной энергии; стало быть, КПД резиноаккумулятора невелик!

Метровый резиновый жгут сечением в  $1 \text{ см}^2$  имеет массу чуть больше 100 г, а накапливает при полном растяжении около 3 кДж энергии. Выходит, у резины как аккумулятора плотность энергии почти в 100 раз больше, чем у пружин, и достигает 30 кДж/кг! Вот, оказывается, почему модели с резиномоторами летают, в то время как ни одна модель с пружинным мотором еще не взлетела. Этим объясняется и мой конфуз с пружинной «суперрогаткой».

Какова же будет масса резинового аккумулятора, пригодного для автомобиля? Необходимые 25 МДж энергии наберут всего около 900 кг резины. Это уже не 50 тонн! Над таким аккумулятором стоит поработать.

Основная трудность, с которой пришлось столкнуться, — это как преобразовать натяжение резины во вращательное движение вала. Ведь в конечном счете накопленная энергия должна вращать вал. Если вращения не нужно, то все гораздо проще. Вот в подводном ружье или в той же рогатке резина тоже аккумулирует энергию. Но все обходится ее растяжением, и это очень облегчает задачу. В резиномоторах для моделей жгут из тонких резиновых нитей скручивают. Кто изготавливал такие резиномоторы, тот знает, как перекручивается жгут при заводке мотора, как трутся петли резины друг о друга. Их даже смазывают касторкой, чтобы уменьшить трение. В результате — много потерь энергии, быстрый износ. По сравнению с моделями для настоящих машин, работа которых определяется КПД и долговечностью, это совершенно неприемлемо.

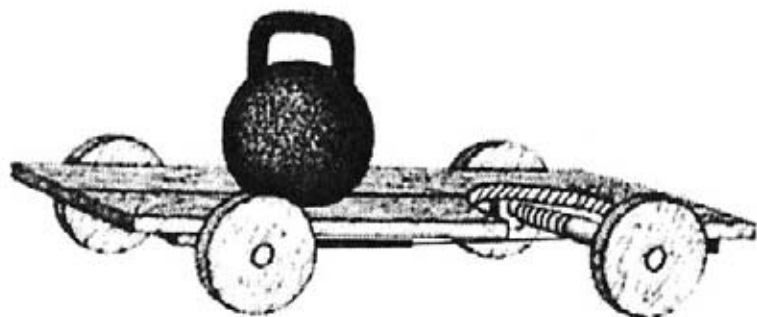


График «растяжения—сокращения» резины (заштрихованные зоны характеризуют потери энергии)



Итак, резину нужно только растягивать. Первой мыслью, конечно, было привязать к концу резинового жгута веревку и намотать ее на вал, который должен вращаться.

Я так и сделал. Превратить «безменовоз» в «резиновоз» было делом получаса. Под днищем тележки я закрепил конец резинового жгута, ко второму концу привязал шнурок, а шнурок намотал



Тележка-«резиновоз» движется на накопленной в резине энергии

на ось колеса — и нехитрый привод был готов. Стоило прокрутить колеса тележки в обратную сторону, и энергия растянутой резины начинала катить «резиновоз», как только я опускал его на пол.

Я убедился, что как

транспортная машина он гораздо лучше «безменовоза»: и проходит большее расстояние, и движется более плавно.

Но для реальной машины это не подходит. Если даже изготовить толстенный резиновый жгут сечением в  $1 \text{ дм}^2$ , то для накопления нужной энергии он должен иметь длину не менее 100 м! Растянется же этот жгут почти на целый километр. Такой жгут не то что на автомобиль, на поезд не поместится.

Если перекидывать жгут через блоки, как трос в подъемных кранах, то, хоть мы и сократим его длину, почти всю накопленную энергию «съедят» потери в блоках. Ведь резина — не стальной трос, она сильно растягивается, и при огибании блока жгут будет так тереться об его поверхность, что потери энергии, как и износ резины, неминуемы.

И еще. Сам по себе жгут сечением в  $1 \text{ дм}^2$ , растягиваясь, может развивать силу в несколько тонн. Перекинув жгут через блоки, мы как бы складываем его раз в 100 (чтобы сократить километровую длину хотя бы до пригодных для автомобиля десяти метров), при этом усилие растяжения достигает сотен тонн. Этакая сила запросто «сложит» автомобиль, совсем как трубу телескопа. Подобные аварии машин так и называются — «телескопированием».

Да, неразрешимая проблема. Всем хороша резина, но слишком уж неудобна в обращении...

И тут совершенно неожиданно мне пришла удачная мысль: если навить резиновый жгут на очень скользкий цилиндр (представим, что мы имеем такой идеально скользкий цилиндр), как на катушку, по спирали, то можно сильно сократить длину жгута. К тому же все усилие растяжения резины «перейдет» во вращение вала, не понадо-



биться никаких дополнительных механизмов, и нечего бояться, что автомобилю грозит «телескопирование». Допустим, диаметр цилиндра будет всего полметра, тогда на каждый метр его длины ляжет не менее 30 слоев жгута, который еще сильно сузится при растяжении. Это уже составит около 50 м растянутой резины. Километровый жгут уляжется на 20 м цилиндра, сделав при этом 600 оборотов.

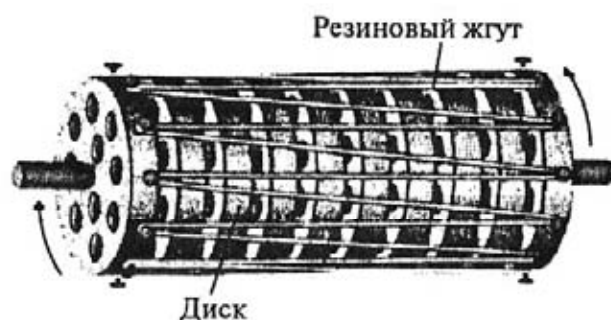
Лучше нельзя и придумать, но пока нет гипотетического идеально скользкого цилиндра. А, собственно говоря, для чего он нужен? Для того, чтобы каждый последующий слой резины на цилиндре мог вернуться относительно предыдущего без трения... Стоп! Ведь такой же результат мы получим, если разрежем цилиндр, как колбасу, на отдельные слои и насадим их свободно на общую ось! Слои эти можно изготовить из легкой пластмассы, даже из дерева.

Я приглядел дома толстую добротную скалку, которой бабушка раскатывала тесто, и, воспользовавшись удобным случаем, распилил ее на множество тонких дисков. Выкрасил их сразу же раствором марганцовки, чтобы не узнали в моем «изобретении» бывшей скалки. Затем, проделав центральные отверстия, посадил диски на гладкий стальной стержень, на котором они могли бы свободно вращаться. Кроме того, я просверлил диски в разных местах, чтобы максимально облегчить конструкцию. В самые крайние диски аккуратно, стараясь не расколоть, вбил короткие толстые гвозди, перекинул через них зигзагами резиновый жгут, концы которого связал между собой. Чтобы диски не терлись торцами, проложил между ними шайбы.

Теперь, вращая крайние диски в разные стороны, я мог растягивать резиновый жгут, накапливая в нем изрядное количество энергии.

Установил я свой «резиноаккумулятор» на оси колеса детской коляски. Крайние диски закрепил неподвижно — один на оси колеса, другой на раме коляски. Закрутив колесо в обратную движению сторону до полного натяжения резины, оборотов на 50, я затем опустил его на землю. Коляска рванулась вперед, как норовистый конь, и резво вынесла меня прямо на середину двора на зависть младшим ребяташкам.

Потом я соединил вместе десять таких «резиноаккумуляторов», расположив их под днищем коляски, с приводом на одно заднее колесо. Второе посадил на ось свободно. Передние колеса я сделал рулевыми и проехал на своем «резиновозе» уже метров 300, вызвав удивление



Мой резиноаккумулятор



у прохожих. Еще бы! Детская коляска с длинноногим «малюткой» сама собой катилась по улице, причем довольно быстро и бесшумно, словно печка с Емелей из сказки!

Моим «резиноаккумулятором» заинтересовались специалисты, тоже из числа прохожих. Один из них, работавший на заводе, посоветовал мне подать заявку в Комитет по изобретениям, описав устройство «резиноаккумулятора». Он и помог составить заявку, так как это оказалось непросто, особенно если делаешь это в первый раз.

Какова же была моя радость, когда я получил официальное письмо, где говорилось, что мой «резиноаккумулятор» признан изобретением. А затем, почти через год, мне торжественно вручили государственный документ — авторское свидетельство на изобретение. Это был красивый диплом с красной печатью и зеленой лентой, с номером моего изобретения и чертежом «резиноаккумулятора». Тот, кто получает такое авторское свидетельство, уже считается изобретателем. Я очень гордился этим документом и повесил его на стенку.

Надо сказать, что «резиноаккумулятор» действительно вышел неплохой. Правда, он запасал не 30, как я ожидал, а всего 3 кДж/кг, но и это было в десятки раз больше, чем может накопить пружина.

Кстати, резина накапливает больше всего энергии и выделяет ее при максимальном КПД не при комнатной температуре, а при той, которая бывает в жаркой русской бане — при 80–90 °С! Поэтому-то автомобильные резиновые шины прочнее и экономичнее именно при данной температуре, которую они сами и принимают во время длительной езды с полной нагрузкой.

Конечно, я понимал, что это не совсем тот аккумулятор, о котором мечталось. И энергии не мешало бы побольше, и потерь ее в резине многовато. Да и материал — резина — недолговечный по сравнению, например, с металлом. Что ж, значит, все еще впереди.

## Энергия... в воздухе!

«Бесполезно было ждать от резины энергии больше, чем она в состоянии накопить», — успокаивал я себя, глядя на предмет моей гордости — авторское свидетельство на изобретение «резиноаккумулятора». Мне удавалось растягивать жгут лишь до известных пределов, в конце концов резина не выдерживала и лопалась. При этом вся накопленная энергия «вылетала» из нее, как пробка из бутылки шампанского.

А кстати, почему вылетает пробка из бутылки с шампанским? Потому же, почему и пуля из пневматического ружья. Сжатый газ способен совершать работу благодаря накопленной в нем энергии. Той самой потенциальной энергии, что запасалась в устройствах,



которые я мастерил раньше. Воздух, как и любой газ, обладает упругостью. Более того, воздух, например, можно сжимать гораздо сильнее, в большее число раз, чем растягивать пружину или резину. Хорошо, если пружину удастся растянуть вдвое; резину иногда растягивают раз в пять-шесть. А воздух сжимай хоть в 500 раз — ничего ему не сделается. То есть в сжатом воздухе, если рассуждать теоретически, можно накопить огромную энергию. Но газ не поддается сжатию сам по себе, нужен сосуд — баллон, в котором этот газ находился бы. Баллон должен быть очень прочным, иначе его разорвет давление.

А прочные вещи всегда тяжелые, поэтому сам баллон, как правило, намного тяжелее, чем газ внутри него. Правда, и газ, сжатый, например, в 500 раз, нелегок — по плотности он уже приближается к жидкости...

Но все-таки, сколько энергии сумеет накопить сжатый воздух? Может ли он претендовать на звание «энергетической капсулы»? Я, наверное, первый раз в жизни листал свой школьный учебник по физике с таким нетерпением, прежде чем нашел то, что искал.

Чтобы узнать, сколько энергии накоплено в газе, нужно умножить его давление на объем. Кубометр воздуха весит чуть больше килограмма. Допустим, мы сожмем воздух в 500 раз, его давление будет — 500 атм, или около 50 МПа (мегапаскалей). Тогда весь кубометр воздуха уместится в сосуде емкостью 2 литра. Если предположить, что баллон весит примерно столько же, сколько и воздух (а это должен быть очень хороший крепкий баллон!), значит, на каждый килограмм баллона придется только около литра сжатого воздуха. Но этот литр, или одна тысячная кубометра, умноженный на 50 МПа, даст в результате 50 кДж энергии!

Совсем неплохой показатель — 50 кДж/кг! Плотность энергии почти вдвое выше, чем у лучшей резины. И долговечность такого аккумулятора очень высока — воздух не резина, он не изнашивается. Масса воздушного аккумулятора для автомобиля будет всего 500 кг. Его уже вполне можно установить на автомобиле в качестве двигателя.

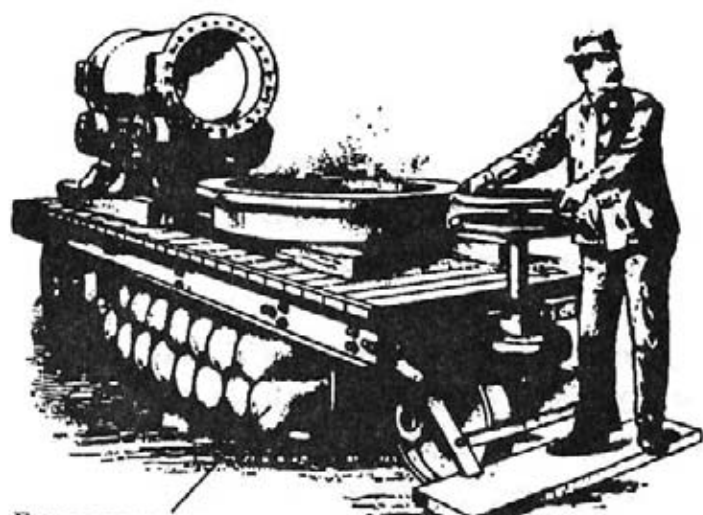
Окрыленный этим открытием, я поспешил поделиться радостью со своим приятелем. Но тот в ответ лишь ухмыльнулся и сунул мне под нос только что полученный журнал, где говорилось, что не так давно итальянцы построили автомобиль-воздуховоз, способный с одной заправки воздухом пройти более 100 км.



Сжатый газ в баллоне выделяет энергию, вращая пневмодвигатель



Вскоре выяснилось, что и это далеко не новость. Еще в позапрошлом веке во французском городе Нанте ходил трамвай, работавший от баллонов со сжатым воздухом. Десяти баллонов воздуха, сжатого всего до 3 МПа, при общем объеме 2800 л, трамваю хватало, чтобы проходить на накопленной в воздухе энергии путь в 10–12 км.



Баллоны со сжатым газом

Автомобиль-пневмокар, работающий на потенциальной энергии сжатого в баллонах газа

В США уже в начале прошлого века был изготовлен автомобиль-пневмокар, работавший на энергии сжатого воздуха.

Все равно я решил построить модель такого воздуховоза, чтобы самому убедиться в преимуществах и недостатках воздушного аккумулятора. Как мне представлялось, модель автомобиля-воздуховоза сделать несложно. По моим расчетам, для этого нужен был углекис-

лотный огнетушитель, например автомобильный, который выбрасывает струю газа, а не пены, и тяговый пневмодвигатель, скажем, от воздушной дрели или гайковерта.

Но, увы, первое же испытание воздуховоза разочаровало меня. Я направил сжатый углекислый газ из огнетушителя в пневмодвигатель, а тот, чуть-чуть поработав... замерз. Да-да, покрылся инеем и остановился!

Объяснение этому поразительному явлению я нашел в том же учебнике физики.

В принципе любой сжатый газ при резком расширении сильно охлаждается. Когда я, ничего не подозревая, крутанул вентиль баллона сразу до отказа, и газ под большим давлением вырвался из отверстия, расширение оказалось столь интенсивным, что газ стал превращаться в снег. Не обычный, а углекислотный, с очень низкой температурой. Такой снег, только спрессованный, часто называют «сухим льдом», потому что он переходит в газ, минуя жидкую фазу. Мне не раз приходилось видеть «сухой лед», когда я покупал мороженое. Но главное — охлаждение значительно снизило запас энергии в сжатом газе. Ведь давление газа при охлаждении стремительно падает, а значит, уменьшается и количество выделяемой энергии. Это и послужило основной причиной остановки пневмодвигателя.



Можно, конечно, нагреть охлажденный газ, чтобы вернуть ему прежнюю температуру. Но ведь нагрев — затрата энергии. Газ когда-то сжимали, закачивая в баллон. Тут-то он и нагревался: газы, как известно, при сжатии нагреваются. Вот если бы горячий газ сразу же был пущен в работу, тогда бы он охладился до исходной температуры. А при хранении баллон с горячим газом в конце концов остывает, принимает температуру окружающего воздуха. Отсюда, за счет расширения, и столь сильное охлаждение газа при выходе его из баллона, отсюда и «сухой лед».

Как ни горько мне было читать об этом в учебнике, но это было правдой, подтвержденной моим собственным опытом по «замораживанию» пневмодвигателя. Вроде бы и учился я неплохо, по физике имел только «отлично», однако почему-то начисто забыл о тех явлениях, которые на уроках в школе казались мне такими простыми и понятными.

Тем не менее с воздушным аккумулятором надо было что-то предпринимать.

### В помощь воздуху — масло

Прослеживая мысленно все этапы работы аккумулятора, я вдруг понял, что под впечатлением своей неудачи с воздуховозом упустил из виду очень существенный момент. Действительно, решив бороться с расширением и охлаждением газа после выхода его из баллона, я совсем не подумал о том, что почти то же самое происходит одновременно и внутри баллона. С каждым мгновением газа в нем становится все меньше и меньше, газ все больше расширяется, давление его падает, а следовательно, снижается и количество выделяемой энергии. И если сначала мы получаем с литра сжатого газа огромную энергию, то потом, когда давление его приближается к атмосферному, в аккумуляторе уже не энергия, а пшик.

Хорошо бы не давать газу расширяться так сильно, подумал я. Допустим, с 50 МПа довести давление этак до 20 и на этом остановиться. Не так уж и трудно это сделать, если, например, взять цилиндрический баллон и начать перемещать внутри него поршень. И охлаждение было бы значительно меньше, и газ можно было бы не выпускать в атмосферу, оставляя его все в том же герметичном баллоне, просто увеличивая его объем. А это, в свою очередь, позволило бы использовать не только воздух, но и более подходящий для сжатия газ, поинертнее, скажем, азот или гелий. Дело в том, что воздух под большим давлением окисляет смазку, которая присутствует везде и всюду, а азот и гелий — нет.



Кстати говоря, чисто воздушный аккумулятор чем-то напоминает резиновый — и тут и там упругое тело (воздух, резина) само взаимодействует с рабочим органом, непосредственно совершает работу. А вот резина и привязанный к ней шнурок разделяют обязанности — резина энергию накапливает, а шнурок совершает работу. Шнурок нерастяжим, и поэтому ему легче взаимодействовать с рабочим органом, например с осью колеса. Будь тут одна резина, было бы много потерь энергии из-за трения. Недаром когда-то в рогатке поместили кусок кожи между резинкой и камнем — так сказать, рабочим телом. Без этой кожи рогатка стреляла бы гораздо хуже.

Надо бы придумать что-нибудь подобное и для воздушного аккумулятора, решил я. И поиски привели меня к уже давно известному устройству, принцип работы которого заключался в следующем.

Заливаем в баллон со сжатым газом машинное масло и разделяем их поршнем или резиновой диафрагмой. Сжатый газ давит на поршень,



Гидрогазовый аккумулятор

тот на масло, а оно уже поступает под давлением в гидромашину, которая очень похожа на пневмодвигатель или даже на паровую машину — те же цилиндры, поршни, золотники. Только вместо газа или пара гидромашину приводит в действие масло. Масло не сжимается, поэтому потерь энергии в такой машине во много раз меньше, чем в воздушном пневмодвигателе. Да и смазки не нужно — машинное

масло само прекрасно смазывает трущиеся детали. Несжимаемое масло здесь как раз играет роль нерастяжимого шнурка.

Это тоже был аккумулятор — гидрогазовый, то есть состоящий из жидкости — масла — и газа. Но наряду с преимуществами перед чисто воздушным аккумулятором он имел и свои недостатки.

Главный недостаток — требовалось много масла. Чем более емкий аккумулятор мы хотим сделать, тем больше в нем должно быть сжатого воздуха. Масла, естественно, понадобится столько же, сколько и воздуха, не меньше. И еще — проходя через гидромашину, масло свободно стекает в бак — тяжелый, громоздкий, тем бóльшего размера, чем больше масла. Если учесть, что здесь используется не один, а сразу несколько баллонов со сжатым воздухом и маслом, то можно себе представить, как это все увеличит размеры и массу аккумулятора!

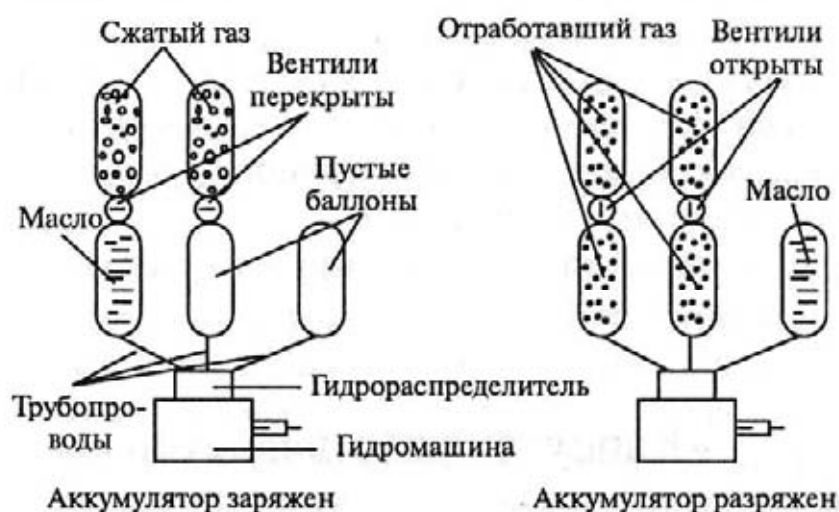


Нет, размышляя я, так дело не пойдет. Куда мне такая громадина? Один только бак чего стоит... А нельзя ли обойтись совсем без него?

Половину баллона сначала занимает сжатый газ, вторую половину — масло. Попробуем сузить баллон посередине, между жидкостью и газом, поставив там запорный клапан. Изменим таким же образом и другие баллоны аккумулятора. Теперь сделаем вот что: пусть масло находится в нижней половине первого баллона, сжатый газ — в верхней. В остальных баллонах оставим сжатый газ только в верхних половинах, нижние оставим пустыми, а запорные клапаны перекроем. Причем последний баллон выполним только из нижней половинки.

Итак, весь газ сжат, энергия в нем накоплена — все готово к совершению работы. Сможет ли аккумулятор работать без бака?

Открываем запорный клапан первого баллона и выпускаем масло под давлением в гидромашину. Но после гидромашинны направляем масло уже не в бак — его ведь нет, — а в пустую нижнюю половину



Гидрогазовый аккумулятор без бака

следующего баллона. Когда он заполнится, открываем запорный клапан этого баллона, и масло, отработав в гидромашине, поступает в третий баллон. И так далее, при любом количестве баллонов, при любой емкости аккумулятора. В конце работы остается только заполненная маслом нижняя половинка последнего баллона. Все в порядке, энергия выделяется!

Зарядка аккумулятора должна происходить в обратной последовательности. Мы крутим гидромашину, и масло своим давлением поочередно сжимает газ в баллонах, переходя из одного в другой, при этом предыдущий баллон используется в качестве бака. Аккумулятор заряжен!

Это была уже действительно победа! Использовать в аккумуляторе огромной емкости постоянный небольшой объем масла и обойтись совсем без бака — раньше это казалось мне просто фантастичным.



Чтобы проверить правильность своих расчетов, я обратился к специалистам-гидравликам. И тут я по-настоящему оценил народную поговорку: «ум хорошо, а два лучше». Специалисты многое поправили в моей схеме, нашли такие «тонкости», о которых я и не подозревал. Разработанные нами впоследствии устройства были признаны изобретениями.

И все же полного удовлетворения у меня не было. Пристально изучая воздушный аккумулятор, я убедился, что при сильном сжатии многие газы просто-напросто сжижаются, и дальнейшее сжатие, если оно даже возможно, уже не дает желаемого эффекта.

Оказалось также, что нельзя закачивать газ под очень большим давлением в один баллон — не выдержит, разрушится стенка баллона, даже если она сделана из толстой стали. Надо помещать один в другой несколько баллонов, постепенно повышая давление от внешних к внутренним. Однако полноценным аккумулятором станет только внутренний, самый малый баллон, где наиболее высокое давление. Остальные будут практически балластом.

Значит, повышать давление более 40–50 МПа для аккумуляции энергии в сжатом газе невыгодно, то есть энергетический «потолок» здесь невысок. И хотя такие аккумуляторы в общем-то нужны и полезны, моей «капсулы» тут не найти.

Время шло, а «энергетическая капсула» продолжала пока оставаться мечтой.

## «Капсула» разогревается

*«Капсула» начинает теплеть, но с появлением загадочного «демона Максвелла» автор всерьез усомнился в правильности избранного пути...*

### Тепловой «банк»

Несмотря на то что с газовыми аккумуляторами решено было покончить, забыть я их никак не мог. Не давало покоя тепло — энергия, пропадающая при остывании горячего баллона после его закачки воздухом. Вернее, не пропадающая, а переходящая в окружающую атмосферу, но от этого не легче.

Хорошо, размышлял я, пусть газ при сжатии сильно нагревается, однако неужели нельзя спасти это тепло, не дать ему рассеяться? Тогда энергию сжатого газа можно было бы использовать не тотчас же после сжатия, а когда угодно.



Есть, конечно, целый ряд способов, позволяющих уберечь тепло от рассеивания. Еще наши предки, желая подольше сохранить горячим заварочный чайник на самоваре, накрывали его ватной «бабой». Кастрюлю с кашей с той же целью убирали под подушку. Да и мало ли еще примеров «укутывания» для сохранения тепла!

Но лучший способ сберечь тепло — это воспользоваться термосом. Я всегда удивлялся способности этого прибора долго, целый день, удерживать чай горячим. Пробовал разобраться — как устроен термос, что у него внутри.

Однажды, сняв крышку, я вынул из корпуса сверкающую зеркальную бутылочку с торчащим хвостиком вниз. Так как больше ничего особенного я не обнаружил и загадка термоса не была разгадана, я с замешательством обломил кончик хвостика, надеясь заглянуть внутрь, под зеркальный слой. Послышался резкий свист воздуха, и все стихло. Посмотрев в крошечное отверстие бутылочки, я понял, что обманулся — ничего там не было.

Я поспешно вставил испорченный сосуд обратно в корпус и завинтил крышку. Внешне термос оставался тем же, а тепла, увы, уже не удерживал. Кипяток в нем, правда, остывал не так быстро, как, например, в чайнике, но и не так медленно, как раньше. Термос посчитали негодным и выбросили.

А я, заглянув в энциклопедию, нашел там статью про термос и выяснил его устройство. Оказывается, зеркальная бутылочка была не цельная, а состояла из двух стеклянных колб, вставленных одна в другую и позеркаленных особым способом. В пространство между ними заливают специальный раствор, содержащий соли серебра, и колбы нагревают. Стенки колб при этом покрываются тончайшей серебряной пленкой. Затем раствор выливают, воздух из этого пространства тщательно откачивают и отверстие запаивают. Вот и остается после него тоненький стеклянный хвостик, который я обломил...

Для чего же все это делается? Если мы нальем в термос горячую жидкость и заткнем его пробкой, то куда денется тепло? Окружающий воздух не нагреется — тепло не пройдет через безвоздушную прослойку между колбами. Излучиться в пространство, как излучается оно Солнцем или раскаленным металлом, тепло тоже не сможет — зеркальный слой отразит тепловые лучи, как свет, снова внутрь колбы. А внешняя колба позеркалена для того, чтобы тепловые и солнечные лучи снаружи не попали внутрь и не нагрели термос, особенно когда в нем находится холодная вода или мороженое. Поэтому термос одинаково хорошо сохраняет первоначальную температуру как холодных, так и горячих тел. Говорят, что он теплоизолирует их от окружающей среды. Тепло может «утечь» или «притечь» только через тоненькую «шейку», соединяющую обе колбы, или через пробку. А пробка очень плохо передает тепло.



Здесь следует заметить, что воздух между колбами должен быть откачан до очень высокого, почти «космического» вакуума. Если там остается даже ничтожное количество воздуха, даже его тысячная



«Сосуд Дьюара» — термос

доля, то эффект термоса исчезает. Хотя молекул и становится намного меньше, но и длина их пробега увеличивается, а теплопроводность почти не падает! Вот такова эта удивительная физика!

Изобрел этот хитрый сосуд в самом конце позапрошлого века английский ученый Джеймс Дьюар; в его честь термос и другие сосуды, поддерживающие постоянную температуру, называют еще сосуда́ми Дьюара.

Вот куда бы надо помещать сжатый газ, чтобы он не охлаждался, а сохранял свое тепло подольше. Но сосуд Дьюара, рассчитанный на огромные давления аккумулятора, станет тогда очень сложным и дорогим; как говорится, игра здесь просто не стоит свеч.

Зачем же вообще помещать туда газ, да еще сжатый? Ведь значительно большее количество энергии можно накопить в заранее нагретых телах помассивнее, чем газ, например в жидкостях, — их и сжимать для этого не надо. Тогда давление нам уже не мешает, и сосуд Дьюара будет иметь свой обычный вид.

Килограмм сжатого до 50 МПа газа, как я подсчитал, может накопить 50 кДж энергии, в то время как литр воды, соответствующий по массе тому же килограмму, при нагревании всего на один градус уже накапливает одну большую калорию тепла, которая равна 4,2 кДж механической энергии. Если же нагревать литр воды от 0 до 100 °С, то в воде будет в восемь раз больше накопленной энергии, чем в килограмме сжатого до 50 МПа газа.

Все это показали несложные расчеты, которые я раньше делал на уроках в школе, откровенно говоря, довольно неохотно. Но теперь результат буквально ошеломил меня. Вот где надо искать настоящую «энергетическую капсулу»! Даже обыкновенная вода, нагреваемая до столь невысокой температуры, запасает огромное количество энергии. А что могут дать другие, новые материалы, которые, возможно, гораздо лучше воды накапливают тепло?

Мысль о новых теплоемких материалах отныне не покидала меня ни на минуту. Я жил в предвкушении сенсационных открытий.



## Секреты плавления

В мечтах уже виделся сияющий кусочек неведомого пока материала, нагретый до чудовищной — в миллионы градусов — температуры. Этот кусочек, вобравший в себя гигантское количество тепловой энергии, следовало поместить в жароупорный «термос». Чтобы не расплавились стенки сосуда, кусочек должен быть «подвешен» в магнитном поле внутри «термоса»...

Эту фантастическую картину я рисовал моему школьному товарищу, когда мы до глубокой ночи провожали друг друга домой. А он жестоко и методично разбивал мои мечты одну за другой.

Во-первых, говорил он, при температуре свыше 3000–4000 °C почти все вещества превращаются в пар. Пара же в термосе много не уместить. Во-вторых, столь высокую температуру не выдержит не только сосуд Дьюара, но и любой другой сосуд — он расплавится или сгорит.

Твердые или жидкие тела останутся в прежнем состоянии, если их нагревать до 1000–1500 °C, не более. Но при такой температуре они уже не подчиняются магниту, в магнитном поле их не «подвесишь». Можно, конечно, «подвешивать» небольшие количества расплавленного металла в высокочастотном электромагнитном поле, где металл поддерживается в расплавленном виде энергией поля. Однако потери электроэнергии на «подвешивание» здесь очень велики, для «энергетической капсулы» это не подходит.

Напомнил мне друг и о том, как мучаются физики-ядерщики, пытаюсь хоть на краткий миг «запереть» сверхгорячую материю в магнитном поле, но из этого пока мало что получается. А у меня, дескать, и подавно ничего не выйдет. Больше, на что я могу рассчитывать, это раскалить докрасна камни, как в русской бане, а затем попробовать «извлечь» из них энергию, поливая водой. Пар же можно направить и в паровую машину, и...

Меня злили доводы друга, хотя я понимал, что он прав. Но где же выход? Мечты об «энергетической капсуле» рассеивались как дым. Я лег спать в раздумьях, и мне снилась русская баня...

А утром произошло следующее. Выйдя на кухню, я увидел в кастрюле на газу плавающие в кипятке какие-то странные предметы — зеленые и все в шипах. Оказалось, это термобигуди, которыми пользуются для укладки волос. Нагретые в кипятке, такие бигуди долго-долго остаются горячими. Да это же почти то, что нужно — накопитель тепла!

Я выпросил одну «бигудину» и бросил ее в кипяток вместе с такими же по массе кусочками дерева, пластмассы и металла. Затем одновременно вынул их и положил остывать. Поразительно, но «бигудина»



сохраняла тепло в несколько раз дольше своих соседей. Не доверяя пальцам, я проверил это даже небольшим электротермометром, который взял в школьном физическом кабинете.

Проделав опыт многократно, я заметил, что «бигудина» в отличие от других образцов остывала весьма необычно. Сначала температура ее падала довольно резко, потом, дойдя до 50–60 °С, держалась так очень долго. Затем «бигудина» опять быстро остывала до комнатной температуры.



Термобигуди — накопитель плавления

Тут я не удержался и вскрыл «бигудину», чтобы посмотреть, что за механизм у нее внутри. Но там, кроме какой-то пастообразной массы, ничего не оказалось. Это был парафин или стеарин, из которых делают обыкновенные осветительные свечи. Чудеса!

Я купил килограмм парафина, расплавил его и залил в термос. В другой такой же термос я поместил воду, нагретую до одинаковой с парафином температуры. Результат был прежний. Когда вода уже остыла, парафин в термосе все еще оставался горячим и жидким. Наконец он затвердел, а после быстро остыл, почти как вода. Вода простояла горячей примерно сутки, а парафин — несколько дней.

И вдруг меня осенило. Конечно же, при затвердевании жидкости выделяется «скрытая» энергия, которая была затрачена при плавлении! Когда жидкость остывает, тепло постоянно отбирается от нее, но пока вся она не затвердеет, пока не застынет последняя капля, температура ее будет держаться на точке плавления. Для парафина — это 54 °С.

И наоборот, температура плавящегося тела, например льда, не поднимется ни на градус, пока последний его кусочек не расплавится, не превратится в жидкость. Все это я проходил в школе, обо всем этом написано в учебниках.

Оказывается, чтобы расплавить килограмм льда, нужно затратить 80 килокалорий, алюминия — 92,4, железа — 66, свинца — 6,3, ртути — 2,8 килокалории. А есть материалы — к примеру гидрид легкого металла лития, — которые требуют для плавления гораздо большего тепла. Так, чтобы килограмм твердого гидрида лития перевести в жидкость при температуре его плавления — 650 °С, потребуется 650 килокалорий.

Посмотрим теперь, сколько аккумулируется тепла. Предположим, что нам нужна температура в аккумуляторе между 700 и 600 °С, например, чтобы получить из воды пар для питания парового автомобиля. Воспользуемся для этой цели куском металла — железа или меди. При остывании с 700 до 600 °С каждый килограмм железа или меди



выделит около 10 килокалорий. Если то же проделать с гидридом лития, то только при затвердевании на точке  $650^{\circ}\text{C}$  он выделит 650 килокалорий, а дополнительно, остывая до  $600^{\circ}\text{C}$ , — еще 30 килокалорий. Итого — 680 килокалорий, или в 68 раз больше, чем может дать неплавящийся металл! Это ли не «капсула»?

Действительно, если подсчитать, какой механической работе это соответствует, мы получим гигантскую цифру — 2,85 МДж/кг. Ведь каждая килокалория — 4,2 кДж энергии. Стало быть, менее 10 кг теплового аккумулятора хватило бы для прохождения 100 км пути! Это равно количеству бензина, необходимого автомобилю для такой поездки.

Не только гидрид лития обладает таким «магическим» свойством. Для получения рабочих температур теплового аккумулятора около  $100^{\circ}\text{C}$  подходят кристаллы фосфорнокислого натрия. Если же нужна температура выше  $1000^{\circ}\text{C}$ , то можно взять окислы бериллия, магния, алюминия, кремния, а также силициды и бориды некоторых металлов.

Мне уже думалось, что поиск «энергетической капсулы» близок к завершению, — энергетическая, вернее, тепловая «капсула» обещала быть не больше автомобильного бензобака! И я стал искать в литературе все, что было написано про тепловые аккумуляторы.

### Что может тепловая «капсула»

Проведя несколько дней в библиотеке, я понял, что все мои мысли и проекты отнюдь не новы.

Американские инженеры уже испытали парафиновые накопители тепла, которые действительно оказались гораздо лучше водяных. Я мог не пачкать термос парафином...

Японские энергетики строят накопители тепла, состоящие из множества шариков, сделанных из окиси алюминия. Шарики сначала обдувают горячим воздухом, а потом они сами нагревают холодный воздух, который затем идет на отопление.

Немецкие ученые построили накопитель тепла в виде вращающегося котла с глауберовой солью. Когда котел подогревают, соль плавится, поглощая большое количество энергии. Накопленное тепло используют для разных целей, в частности для обогрева жилых помещений. Глауберова соль запасает тепла в 7 раз больше, чем нагретая вода, и в 12 раз больше, чем нагретые камни. Объем такого котла — около  $3\text{ м}^3$ .

Однако немецкие ученые на этом не остановились и предложили проект поистине гигантского теплового накопителя. Озеро площадью около  $5\text{ км}^2$  они задумали укрыть «одеялом» из пенопласта толщиной 10 см. После этого воду в озере нагреют до  $75^{\circ}\text{C}$ . Благодаря «одеялу»,



тепло в озере будет сохраняться очень долго, многие месяцы, и его можно постепенно использовать. Странно, что этот проект появился в современной Германии, где так пекутся об экологии. Ведь рыба, живущая в этом озере, будет очень недовольна повышением температуры воды до 75 °С!

Но уж если говорить о гигантских тепловых накопителях, то проект российских ученых не имеет себе равных. В нем предлагается использовать солнечную энергию с помощью теплового накопителя массой 400 млн т! Этот накопитель можно представить себе в виде кольца, имеющего ширину 10 м и толщину в полметра, которое опоясывает Землю по экватору. Днем участки кольца, освещаемые солнцем, нагреваются, и заполнитель плавится. Ночью расплавленные участки гигантского накопителя выделяют тепло, снабжая энергией население всего земного шара. Проект этот показался мне хоть и заманчивым, но уж очень фантастичным, почти утопией.

Узнал я и о том, что тепловые накопители применяли на транспорте, причем более 100 лет назад. Как я уже говорил, во Франции, в городе Нанте в конце позапрошлого века ходил трамвай, работавший на сжатом воздухе. Так вот, этот трамвай на конечных станциях заправляли не только сжатым воздухом, но и кипятком.

Кипяток, играя роль накопителя тепла, согревал воздух после выхода его из баллона, когда газ сильно охлаждался. Нагревание повышало давление воздуха, и он совершал гораздо большую работу, чем без нагрева. Таким образом, пользуясь дополнительным накопителем тепла, можно получать от газового или воздушного аккумулятора энергию, даже превосходящую ту, что была затрачена при зарядке баллона.

Такой же принцип, но с заменой кипятка на горелку со змеевиком, был использован в американском пневмокаре, о котором мы уже говорили. Таким образом, получался своеобразный «гибрид» теплового двигателя и пневматического накопителя.

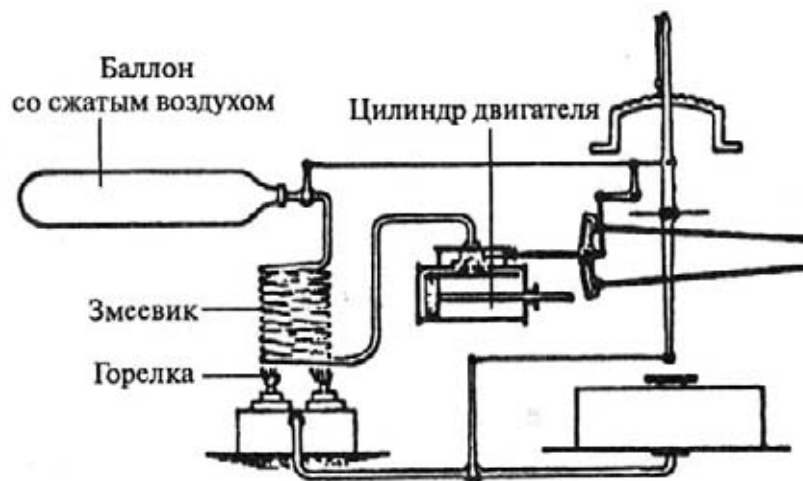


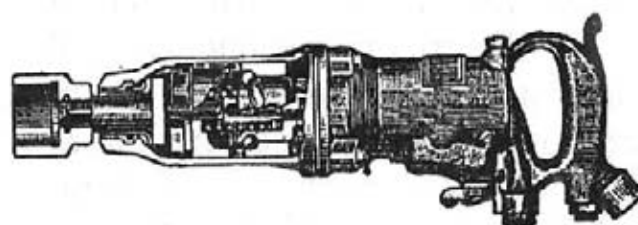
Схема пневмокара с подогревом воздуха горелками



Разумеется, я не смог отказать себе в удовольствии проверить такой «гибридный» накопитель в действии и сделал небольшую тележку — микромобиль. Основой послужил детский педальный автомобильчик — карт, какой продается в «Детском мире». На тележке я установил баллон углекислотного огнетушителя и соединил его прочным резиновым шлангом, протянутым через накопитель тепла со змеевиком, с пневматическим гайковертом, который по официальной версии приобрел в магазине инструментов, авдействительности «реквизировал» с заводского конвейера. Гайковерт состоит из пневмодвигателя, работающего от сжатого воздуха, и редуктора, понижающего скорость вращения патрона. С этим патроном я связал цепной передачей заднее колесо тележки, а второе посадил на ось свободно, на подшипниках.



Мой микромобиль — гибрид



Пневматический гайковерт

Открывая вентиль баллона, я подавал углекислоту в гайковерт, он вращал колесо, и микромобиль катился. Но теперь пневмодвигатель не замерзал, как в моем недавнем опыте с воздуховозом. Я поставил на пути газа из баллона в пневмодвигатель накопитель тепла, используя кастрюлю, и внутри поместил змеевик из металлической трубки (он был взят из выброшенного холодильника). В кастрюлю заливалась кипящая вода, а впоследствии и расплавленный парафин. Углекислый газ, проходя через змеевик, сильно нагревался и отдавал микромобилю значительно больше энергии.

Если правильно подобрать передаточное число цепной передачи от патрона гайковерта к колесу, то на таком микромобиле можно проехать около километра. Позднее я додумался применить здесь цепную «коробку скоростей» от гоночного велосипеда и несколько баллонов с углекислотой, вследствие чего длина пробега микромобиля еще больше увеличилась. Баллоны с углекислотой нужно было периодически заряжать на тех же станциях, где заряжают водители свои автомобильные огнетушители. Или покупать уже заряженные баллоны в автомагазинах. Что и говорить, дороговатым получалось катание, но зато было интересно.



Мой микромобиль всем очень нравился, сверстники любили на нем кататься. Каждый приходил со своим огнетушителем, а в автомагазине были рады, что залежалые баллоны хорошо распродаются. Только продавцов удивляло, что спрашивают именно углекислотные, а не другие типы огнетушителей.

У меня уже был опыт составления заявки на изобретение, и вскоре я подал ее на свой микромобиль. В ответ пришло письмо, в котором меня уведомляли о том, что моя заявка признана изобретением. Еще одно изобретение, а настоящей «капсулы» все нет...

Чтобы избавиться от дорогих баллонов с углекислотой, я решил поставить на микромобиль вместо пневмодвигателя паровую машину, которую мне обещали дать из школьного физического кабинета, а огнетушитель заменить обыкновенным паровым котлом. Правда, расчеты показали, что ни парафин, ни глауберова соль мне здесь не помогут — слишком низкая у них температура плавления. Тут вполне подошел бы гидрид лития с его 650 градусами. Однако все мои попытки достать гидрид или сходный с ним фторид лития не увенчались успехом. В хозяйственных магазинах его не было, в магазинах химреактивов мне постоянно советовали обратиться в конце месяца.

А пока я ждал очередного конца месяца, мне попала на глаза — по-моему, в журнале «Техника молодежи», — информация как раз об использовании тепловых накопителей на транспорте. В маленькой заметке сообщалось, что в тепловой накопитель, установленный на мотороллере с так называемым двигателем Стирлинга мощностью в 3 лошадиные силы (2,2 кВт), заливали ведро расплавленного фторида или гидрида лития, и двигатель работал 5 ч, используя накопленное тепло.

Значит, мне уже не нужно тратить время на поиски гидрида лития, тепловой накопитель с ним уже есть. Вот только что это за двигатель Стирлинга?

Так и не вспомнив, где мне попадалось это название, я обратился к энциклопедии и узнал, что принцип действия двигателя, изобретенного в 1816 году шотландским священником Робертом Стирлингом, основан на нагревании одной его части и охлаждении другой; в самом двигателе находится газ — водород или гелий — под большим давлением. Двигатель Стирлинга сейчас считают одним из самых перспективных тепловых двигателей, он работает даже от тепла человеческих рук.

Я еще раз внимательно прочитал заметку в журнале и прикинул, сколько потребовалось бы горючего для совершения той же работы. Сравнение оказалось не в пользу теплового накопителя — горючего понадобится всего около 3 кг, или чуть больше 3 л!



В чем дело? Почему столь энергоемкий накопитель, как тепловой, менее эффективен, чем бак с горючим?

Когда же я вычислил массу всего силового агрегата, необходимого для автомобиля, то есть массу двигателя Стирлинга вместе с тепловым накопителем, то понял, в чем причина столь неутешительных результатов. Дело в том, что силовой агрегат оказался почти в 300 раз тяжелее теплового накопителя!

Это происходит прежде всего потому, что двигатель Стирлинга и тем более паровая машина очень тяжелы сами по себе. Кроме того, в механическую энергию, как выяснилось, можно перевести с помощью этих машин только около трети энергии накопителя. Две трети энергии, а следовательно, и массы накопителя для нас теряются.

Так или иначе, но для прохождения 100 км пути автомобилю понадобился бы силовой агрегат массой около 3 т, что в три раза больше, чем весит сам автомобиль! Ни о какой «капсуле» здесь говорить, естественно, не приходится...

### Кое-что об энергии и работе

Как же так: механическая энергия вся без остатка переходит в тепловую, а тепло «не хочет» полностью переходить обратно в механическую энергию? Разве эти процессы не обратимы? Ответы на свои вопросы я нашел в том же учебнике физики.

Для преобразования тепла в механическую работу создан целый класс машин, называемых тепловыми двигателями. Они могут быть внутреннего сгорания, какие мы привыкли видеть на автомобилях, паровыми, Стирлинга, которые еще называются «внешнего сгорания», да мало ли еще какими, — их очень много. Во всех этих двигателях, независимо от их типа, присутствуют рабочее тело (в паровых машинах — пар, в двигателях Стирлинга и внутреннего сгорания — газ; рабочее тело бывает и жидким), нагреватель и холодильник. Поэтому распознать тепловой двигатель нетрудно. В нагревателе (топке, цилиндре и пр.) рабочее тело греют, затем «высокотемпературная» тепловая энергия переходит в «низкотемпературную», или, как говорят, «деградирует», совершая механическую работу. Деградированная часть тепловой энергии уже не может эффективно совершать работу в данных условиях, она поглощается холодильником, «выбрасывается» в окружающую среду. Такого рода потери энергии присущи любому тепловому двигателю.

Однако это еще не все. Внутренняя энергия газа или пара вообще всегда превращается в энергию движения механизмов лишь частично. Чтобы было понятнее, вспомним, как механическая энергия движу-



щихся тел превращается в тепловую энергию. Попала, например, летящая пуля в доску, застряла в ней, при ударе вся ее кинетическая энергия перешла в тепло — энергию движения атомов и молекул. По-другому обстоит дело, когда внутренняя энергия газа или пара превращается в механическую энергию.

Внутренняя энергия тел складывается из механической энергии атомов и молекул, находящихся в состоянии хаотического, неупорядоченного движения. Для того чтобы тепло полностью перешло в кинетическую энергию движения поршня тепловой машины, многие миллиарды хаотично мечущихся молекул должны были бы дружно подлететь к поршню и, ударившись об него, передать ему всю свою кинетическую энергию. И то всю механическую энергию они бы не передали, осталась бы еще потенциальная энергия взаимодействия молекул.

Вот почему КПД тепловых двигателей столь невелик. Французский ученый Никола Карно в 1824 году установил, что КПД любого теплового двигателя не может превышать величину, равную частному от деления разности абсолютных температур нагревателя и холодильника на абсолютную температуру нагревателя (это по Кельвину; чтобы получить то же по Цельсию, нужно прибавить 273 градуса).

Например, если пар входит в цилиндр паровой машины при температуре 200 °С, то есть 473 К, а уходит при температуре 100 °С, то есть 373 К, то КПД такой машины теоретически не может быть выше 100/373, или 21 %. А реально КПД поршневых паровых машин не более 10–15 %.

Отсюда ясно, почему накопители тепла надо использовать именно для получения тепла, а не пытаться с их помощью производить механическую работу. Все равно применение для накопителей тепла в будущем найдется. Хотя бы для обогрева салона тех же автомобилей, что будут работать на энергии до сих пор еще не найденной «капсулы».

### Тепловая смерть и «демон Максвелла»

Честно говоря, невеселые мысли посетили меня в свете рассуждений об эффективности преобразования механической да и другой энергии (электрической, химической, высокотемпературной тепловой) в тепло, к тому же тепло малоценное, низкотемпературное, из которого уже невозможно извлечь ничего путного.

Что же получается? Работают сотни миллионов двигателей, электростанции, сгорает уголь, нефть, газ, вырабатывается внутриатомная энергия, и вся эта энергия в конце концов рассеивается, повышая температуру окружающей среды!



Но если повышается температура естественного «холодильника» тепловых машин, то одновременно понижается их КПД, причем всех тепловых машин сразу. Это доказал еще в XIX веке тот же ученый Карно. Постепенно температуры окружающей среды и нагревателей сравняются, КПД всех тепловых машин окажется равным нулю, и произвести работу будет уже нельзя... Существование человечества станет невозможным!

Поскольку вопрос возник «сверхсерьезный», я решил разобраться в нем подробнее. И здесь мне пришлось столкнуться с понятием энтропии, которое было предложено немецким ученым Рудольфом Клаузиусом в середине XIX века и без которого в этом вопросе никак не обойтись. Насколько я уяснил, энтропия — есть некая величина, возрастание которой в необратимых процессах (например, при превращении механической энергии в тепло) характеризует ту часть энергии тел, которая уже не может совершать полезную работу и рассеивается в окружающей среде в виде тепла.

Так вот, доказав, что работа совершается только при переходе тепла от горячего тела к холодному (иначе тепло и не переходит!), и распространив свои выводы на всю вселенную, Клаузиус заявил о неминуемой «тепловой смерти» вселенной.

Конечно, энтропия — сложное понятие, оно с трудом воспринимается неподготовленным человеком, но мне помог прекрасный эмоциональный образ энтропии, энергии и их «отношений» в этом мире, найденный мною в одной старой книге: «Над всем, что совершается в беспредельном пространстве, в потоке преходящего времени властвует Энергия, как царица или богиня, озирая своим светом и былинку в поле, и гениального человека, здесь даря, там отнимая, но сохраняясь в целом количественно неизменной... Но где свет, там и тень, имя которой — Энтропия. Глядя на нее нельзя подавить в себе смутного страха — она, как злой демон, старается умалить или совсем уничтожить все то прекрасное, что создает светлый демон — Энергия. Все мы находимся под защитой Энергии, и все отданы в жертву скрытому яду Энтропии... Количество Энергии постоянно, количество же Энтропии растет, обесценивая Энергию количественно. Солнце светит, но тени становятся все длиннее. Всюду рассеяние, выравнивание, обесценивание...»

Этот отрывок весьма живо рисует ужасную картину приближения «тепловой смерти». И оказывается, до сих пор не найден механизм, защищающий вселенную от предсказанной Клаузиусом гибели. «Тепловая смерть» вселенной пугает людей, пусть даже гибель ее и должна произойти только через миллиарды лет. Даже писатель и философ Н. Г. Чернышевский высказался по этому поводу: «Формула, предвещающая конец движения во вселенной, противоречит факту существования движения в наше время. Эта формула фальшивая...



Из того факта, что конец еще не настал, очевидно, что ход процесса прерывался бесчисленное множество раз действием процесса, имеющего обратное направление, превращающего теплоту в движение...» Конечно же, Чернышевский не мог знать о Большом Взрыве, о том, что вселенная не бесконечна во времени...

Но последняя фраза Чернышевского как будто прямо призывает искать такие процессы, которые полностью превращали бы тепло в движение, иначе говоря, позволяли бы теплу переходить от менее нагретых тел к более нагретым. Что это обеспечило бы миру, ясно без слов. Мы имели бы неограниченное количество энергии, причем не боялись бы при этом повышения температуры окружающей среды — «теплового загрязнения».

Эту идею поддерживал и К. Э. Циолковский, он сам работал над полным превращением тепла в работу. Циолковский считал, что в природе существуют процессы концентрирования энергии, обратные процессам ее рассеяния. Поэтому «получается вечный круговорот материи», вечно возникающая юность вселенной. Отыскать механизмы, концентрирующие энергию, освоить их, использовать для утоления энергетического голода — вот задача, которую ставил Циолковский.

Решить такую задачу, правда, по-своему, попытался еще в 1871 году английский ученый Джеймс Максвелл. Функции подобного механизма он приписал некому фантастическому существу, названному позже «демоном Максвелла». Это существо, утверждал ученый, обладает столь изощренными способностями, что может следить за движением и скоростью каждой отдельной молекулы. Если взять сосуд, разделенный перегородкой на две части, и посадить «демона» у дверцы перегородки, мы можем заставить его открывать дверцу и пропускать в каком-нибудь одном направлении только быстрые молекулы, а в другом — только медленные. Тогда в одной части сосуда температура и давление окажутся выше, чем в другой, то есть мы, не совершая работы, получаем запас энергии.

«Демон Максвелла» и ныне будоражит умы. Много раз ученые убедительно доказывали, что это лишь шутка великого физика, игра воображения, не имеющая никакой реальной основы. Действительно, если бы в сосуде было всего две молекулы, то и без «демона» они в половине случаев могли оказаться в какой-либо одной части сосуда. Если же молекул много, то вероятность их нахождения в одной части сосуда будет чрезвычайно мала. Академик А. Ф. Иоффе оценил возможность существования процессов концентрации энергии дробью, в которой после запятой идут еще 84 нуля. Вероятность получить при столкновении «жигулей» с «запорожцем» совершенно новый «мерседес» гораздо выше!





Демон Максвелла, как я его себе представлял

Однако страсти вокруг «демона» не утихают, приверженцы этой идеи стараются найти все новые аргументы в ее защиту. В одном из научных журналов, в статье, посвященной проблеме «демона Максвелла», всерьез говорится о том, что роль «демона» в разделении молекул с разной энергией взял на себя квантовый генератор — лазер, который отделяет возбужденные молекулы с большой энергией от невозбужденных.

Утверждают, что разделение молекул по скоростям в потоке газа якобы происходит в вакуумной камере под действием гравитационного поля Земли: дескать, в этих условиях медленные молекулы больше отклоняются от первоначальной траектории, чем быстрые.

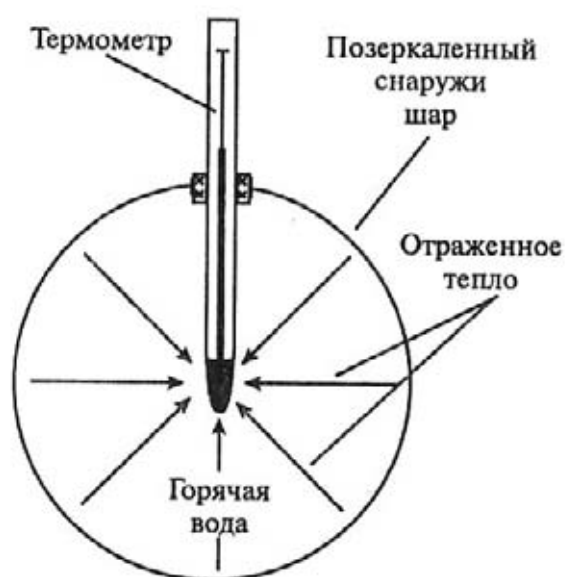
Кроме того, заявляют, будто показания, снятые в разных точках жидкости при измерении температуры ее кипения, могут отличаться на десятки градусов. Как, если не с помощью «демона Максвелла», это можно объяснить?

Последнее меня заинтересовало, и я задумал сам провести опыт, который должен был подтвердить или опровергнуть существование злополучного «демона».



Прежде всего мне нужно было найти какой-нибудь стеклянный сферический сосуд и позеркалить его снаружи.

Подходящий сосуд я раздобыл довольно быстро — взял большой яркий шар из елочных украшений. Чтобы удалить внутренний зеркальный слой, промыл шар изнутри азотной кислотой.



Один из приборов для «поимки» «демона Максвелла» — зеркальный шар с кипятком и термометром

Потом я купил в аптеке несколько ляписных карандашей. Ляпис содержит в себе соли серебра, которые и создают блестящую амальгаму на задней стороне зеркала. Растворив ляпис в чистой воде, я добавил туда немного каустика и обыкновенного сахара. Все это было мною сделано так, как описано во многих книгах для юных техников. Затем я слил раствор в эмалированную кастрюлю и опустил в нее стеклянный шар, наполненный горячей, почти кипящей водой. Тут же на внешней поверхности шара стал оседать слой серебра, и игрушка оказалась позеркаленной снаружи.

Я вынул шар из раствора, высушил его и для прочности зеркального слоя покрыл снаружи слоем лака, воспользовавшись баллончиком аэрозоля для закрепления прически. Потом залил в шар горячую воду и закрыл пробкой с термометром. Термометр мог перемещаться, скользить в пробке, причем чувствительный шарик его проходил через центр сосуда.

Рассуждения мои были таковы. Все тепловые лучи, идущие от горячей воды (а они такие же, как и световые, но невидимые), отражаясь в сферическом зеркале, должны пересечься в центре. Вода прозрачна и не помешает ходу лучей. Если, поместив шарик термометра в точке их пересечения, я получу наибольшую температуру, это будет означать, что тепло сконцентрировано именно в этой точке. Из центра круглого сосуда горячую воду можно удалить насосом через прозрачную трубку, чтобы дать возможность теплой воде нагревать себя в этой центральной части и дальше.

Сказано — сделано. Но только как я ни перемещал термометр, он везде показывал одну и ту же температуру. То ли термометр был недостаточно точен, то ли была ошибка в моих рассуждениях, то ли «демона Максвелла» действительно быть не может, я так и не понял. Мне трудно было разобраться во всем этом, да и не своим делом



заниматься не хотелось. Я ведь искал «энергетическую капсулу», а не «демона Максвелла».

Признаться, мне казалось, что тепловую энергию можно каким-то образом получить и без помощи «демона Максвелла». Например, достаточно облить водой негашеную известь — и она разогреется до температуры выше 100 °С. Или, скажем, налить в стакан с водой серную кислоту — раствор сразу же нагреется так, что стакан в руках не удержишь. Подспудно я понимал, что выделяющееся тепло «заложено» и в известь, и в кислоту при их производстве. Просто это химическая энергия переходит в тепло, как при сжигании дров. Но был опыт, который совершенно сбивал меня с толку.

Как-то я испытывал в качестве аккумулятора плавления обыкновенный фотографический фиксаж, или гипосульфит. Он легко плавился и долго не застывал, оставаясь жидким. Я заметил, что он сохраняет жидкое состояние и при температурах ниже точки затвердевания, буквально при комнатной температуре. Это уже показалось мне странным. И совсем обескуражило меня то, что, бросив в этот переохлажденный расплав крошечный кусочек того же гипосульфита, я вызвал почти мгновенное его затвердевание. Но главное — по мере затвердевания гипосульфит... нагревался. Да-да, нагревался без всяких видимых причин, притом до такой степени, что плавился снова!

Если бы я не был уверен в том, что энергию получить из ничего нельзя, то обязательно занялся бы этим явлением. Но, во-первых, в правильности законов физики я не сомневался, а во-вторых, моей основной целью был все тот же энергетический накопитель. Так что снова на поиски «капсулы»!

## Электрическая «капсула»

*Автор еще раз убеждается во всеилии электричества, равно как и в том, что от воплощения своей мечты он пока еще очень далек...*

### Как накопить электроны?

Да, тепловые накопители если и не завели меня в дебри, то уж точно направили по ложному пути. Чуть было даже не забрел в гости к «демону Максвелла», а уйти от него, говорят, гораздо труднее, чем познакомиться с ним. Но с этим уже все. Торжественно пообещав себе больше не отвлекаться на яркие пустышки, я принялся за



изучение других накопителей из моего списка. Теперь очередь дошла до устройств, накапливающих электрическую энергию. И в начале перечня у меня значился конденсатор.

Я уже говорил, что электрическая машина преобразует механическую энергию в энергию электрического заряда, а он накапливается в конденсаторе — лейденской банке. Это один из самых первых типов конденсаторов, получивший свое название от голландского города Лейдена, в котором в середине XVIII века был создан.

Лейденскую банку можно увидеть в любом школьном физическом кабинете. Она представляет собой обыкновенный тонкостенный стеклянный цилиндр, оклеенный изнутри и снаружи фольгой. Внутренняя обкладка соединена с металлическим стержнем, оканчивающимся шариком. Если при зарядке лейденской банки мы подключим шарик к отрицательному полюсу электрической машины, на внутреннюю обкладку добавится некоторое количество избыточных электронов; тогда с наружной обкладки, подключенной к положительному полюсу машины, или к «земле», соответствующее количество электронов будет удалено. Таким образом на обкладках конденсатора окажутся равные по величине, но противоположные по знаку заряды, — прибор заряжен.

Разряжать лейденскую банку можно только с помощью специального разрядника, изолированного от рукоятки, за которую его держат. Попытки разрядить лейденскую банку руками нередко заканчивались гибелью экспериментаторов. Правда, это было давно, когда люди еще не знали об опасности такого опыта.

Но если лейденская банка столь опасна, значит, в ней заключено много энергии! Не та ли это «капсула», что я ищу?

Поскольку лейденской банки под рукой не оказалось, я взял первый попавшийся конденсатор, из тех, которые остались после ремонта телевизора, и сунул его выводы в штепсель. Пробежала искра. Я отнял прибор от штепселя, но тут вдруг припомнил чьи-то слова: «Переменным током конденсатор не зарядишь». Разочарованный, я прикоснулся пальцами к выводам конденсатора, дабы убедиться в справедливости этих слов, и... По искрам, которые посыпались у меня из глаз, я понял, что мой конденсатор не хуже лейденской банки. Стал вспоминать, кто же это меня обманул, однако так и не вспомнил. Решил все же не испытывать больше судьбу и сначала почитать что-нибудь о конденсаторах, а уж потом заниматься экспериментами.

Раньше, в XVII—XVIII веках, электричество представляли себе как некую невесомую «электрическую жидкость», которая может «вливаться» в проводник. Отсюда по величине заряда — количеству этой «электрической жидкости» — стали определять емкость конденсатора как какой-нибудь фляги или бутылки. Ученые давно заметили, что чем



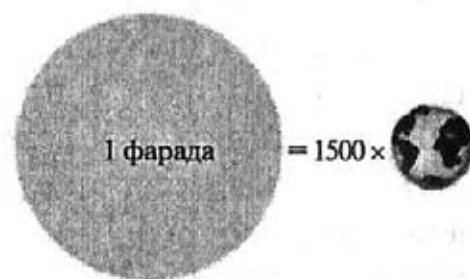
обширнее площадь обкладок и чем меньше зазор между ними, тем больше емкость конденсатора. Однако делать зазор слишком малым нельзя — при высоком напряжении, приложенном к конденсатору, может наступить «пробой» зазора искрой. В лучшем случае конденсатор потеряет заряд, а в худшем — разрушится, причем, что не исключено, со взрывом. Сантиметровый слой воздуха, например, пробивается при напряжении 30 000 В. Понижать же напряжение невыгодно. Ведь в конечном счете нас интересует не просто емкость конденсатора, а его энергоемкость, равная произведению заряда на напряжение. Поэтому уменьшение зазора между обкладками — это не путь к повышению энергоемкости. Выход один — увеличивать площадь обкладок.

И еще одно очень интересное свойство конденсатора открылось ученым. Если помещать между его обкладками различные непроводящие материалы — диэлектрики, емкость конденсатора может резко меняться. Эту способность диэлектриков изменять емкость конденсатора называли диэлектрической проницаемостью. Было установлено: чем больше величина диэлектрической проницаемости, тем больше при прочих равных условиях емкость конденсатора.

Диэлектрическая проницаемость равна в вакууме единице. Очень близка к этому значению диэлектрическая проницаемость воздуха, поэтому воздушные конденсаторы имеют очень малую емкость. Если идти в сторону увеличения диэлектрической проницаемости, то ее значение для парафина — 2, для фарфора и стекла — до 7, а для воды — 81. То есть водный конденсатор обладает в 81 раз большей емкостью, чем воздушный.

Однако при подсчете плотности энергии обычных конденсаторов, например электролитических, которые широко распространены в радиотехнике, выяснилось, что она очень низкая, не выше, чем у обычных стальных пружин. Даже у конденсаторов-гигантов плотность энергии не выше, хотя общее количество энергии может быть достаточно велико.

За единицу емкости конденсаторов принята фарада (Ф). Это очень крупная единица, такую емкость мог бы иметь, например шар, диаметр которого равен 18 млн км, то есть в 1500 раз больше нашей Земли! Разумеется, емкость большинства существующих конденсаторов значительно меньше, поэтому ее измеряют в миллионных долях фарады — микрофарадах (мкФ), или в единицах, еще в миллион раз меньших, — пикофарадах (пФ).



Геометрическое представление единицы электроемкости — фарады





Электролитический конденсатор

Если взвесить самый заурядный электролитический конденсатор емкостью 10 мкФ при напряжении 300 В, то масса его составит несколько десятков граммов. А энергии в этом конденсаторе будет менее 0,5 Дж. Стало быть, плотность энергии достигнет около 10 Дж/кг. Хорошие конденсаторы могут накопить энергии раз в 10 больше, но и это очень немного.

Чтобы резко повысить емкость конденсаторов, приходится прибегать ко всяким ухищрениям. И надо сказать, в последнее время ученые здесь преуспели. В Японии, например, впервые был изготовлен конденсатор из активированного угля!

Известно, что активированный уголь, приготовленный путем кипячения древесного угля в воде, имеет огромную поверхность на единицу объема. Такую поверхность образуют поры, из которых водой были вымыты соли. Благодаря этому активированный уголь отлично поглощает запахи, яды, различные газы. Им заполняют противогазы, его принимают при отравлениях, используют во многих других случаях. Именно поверхность активированного угля и заинтересовала японских ученых.

Уголь пропитывают раствором солей щелочных металлов — натрия, калия, лития в органическом растворителе, и происходит чудо — емкость 1 см<sup>3</sup> такого конденсатора возрастает до десяти и более фарад! Иначе говоря, до емкости размещенного в пустоте шара, чей диаметр в 15 тыс. раз больше, чем диаметр Земли, больше, чем расстояние от Земли до Солнца! Но в отношении энергии это мало что дает — конденсатор из активированного угля выдерживает лишь очень низкое напряжение. Плотность энергии такого конденсатора составляет примерно 1 кДж/кг, что гораздо выше, чем у обычных конденсаторов, но все-таки крайне мала.

Венгерские ученые пошли по другому пути. Они создали особые пластмассы, обладающие необычайно высокой диэлектрической проницаемостью и пробойным напряжением. Кроме того, они выяснили, что самая высокая в природе диэлектрическая проницаемость — 130 тыс. единиц! — у дезоксирибонуклеиновой кислоты, той самой ДНК, которая несет генетическую информацию. Если обычный конденсатор емкостью 10 мкФ заполнить в качестве электролита ДНК, то при напряжении 300 В плотность его энергии составит 20 кДж/кг, что превышает тот же показатель для резиновых аккумуляторов.

Тут мне пришло в голову: что, если объединить открытия японских и венгерских ученых, то есть пропитать активированный уголь дезоксирибонуклеиновой кислотой. Удельная энергия конденсатора,



судя по всему, вырастет еще раз в 100. Тогда масса «энергетической капсулы», необходимой автомобилю для прохождения 100 км, была бы не более 1–2 кг!

Да, заманчиво, конечно, все это осуществить, но где достать столько ДНК? Как пропитать ДНК-активированный уголь? Насколько дорог будет такой конденсатор, если его все же удастся получить? Какова будет сила взрыва, если произойдет случайный пробой?

Мне было трудно ответить на поставленные вопросы, кроме последнего. Дело в том, что однажды я чуть не стал зайкой от оглушительного взрыва телевизионного конденсатора, энергия которого была в десятки тысяч раз меньше...

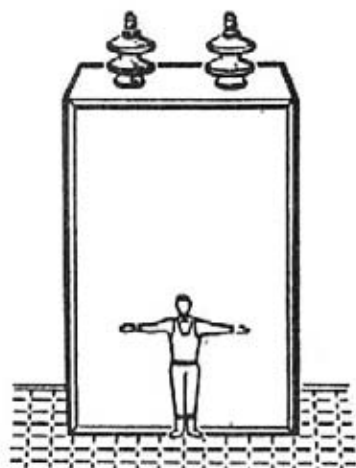
И еще одно обстоятельство меня огорчало. «Перестраховщики» ученые, зная почти все про конденсаторы, определили теоретический предел плотности их энергии, который оказался в тысячи раз ниже по сравнению с вычисленным мной. Кто-то из нас очень ошибался в своих расчетах, и я, кажется, догадывался, кто... По крайней мере на ближайшее будущее с помощью так называемых «ультраконденсаторов» в США планируют накапливать энергию в количестве всего около 30 кДж/кг.

Между тем современные, так называемые «молекулярные» конденсаторы, несмотря на небольшую плотность энергии, в десятки раз уступающую плотности современных электроаккумуляторов, успешно применяются для запуска двигателей внутреннего сгорания и даже для перемещения транспортных средств на небольшие расстояния. Например, для некоторых типов инвалидных колясок.

### «Капсулу» — в жидкий гелий

Нет, не получилось из конденсатора полноценной «энергетической капсулы». Ну ничего, ведь электричество можно накопить не только в виде неподвижного, статического заряда, — при движении электронов по проводу обмотки электромагнита оно тоже накапливается.

Мне очень хорошо запомнился школьный опыт по физике, где мы подключали к аккумуляторной батарее лампочку параллельно с электромагнитом. Лампочка загоралась не сразу, медленно раскалялся ее волосок, но при отключении батареи лампочка, вместо того, чтобы погаснуть, вспыхивала еще ярче. Какая же энергия, если не накопленная в электромагните, раскаляла волосок лампочки тогда, когда питание от батареи уже не поступало? Похоже, эта энергия накапливалась в магнитном поле в то время, когда лампоч-



Конденсатор-гигант



ка горела тускло. Ей явно не хватало мощности батареи — львиная доля мощности шла на насыщение энергией электромагнита.

Итак, вот он — очередной аккумулятор, может быть, даже кандидат на «энергетическую капсулу». Проверим, на что способен электромагнит как накопитель.

Я попробовал «подпитывать» электромагнит током от аккумуляторных батарей, постепенно увеличивая их число. Соответственно повышалось напряжение на клеммах электромагнита, увеличивался ток, а следовательно, росла и подъемная сила электромагнита. В его магнитном поле накапливалась все бóльшая и бóльшая энергия. Так, наверное, продолжалось бы и дальше, но... от электромагнита вдруг пошел дым — он перегрелся от чрезмерного тока. Опыт пришлось прекратить. Вот, значит, где предел энергоемкости электромагнита!

Оказалось, что и со сроком хранения энергии плоховато — держится накопленная энергия в электромагните, или, как говорят, в катушке индуктивности, доли секунды. Из-за сопротивления в проводнике — проволоке, намотанной на сердечник электромагнита, — вся накопленная в его магнитном поле энергия быстро переходит в тепло. А нельзя ли устранить это сопротивление?

Мне не хотелось идти в библиотеку, однако я пересилил себя. Зато потом в читальном зале я просидел до самого закрытия и нашел не только ответ на свой вопрос, но и множество других полезных сведений.

Еще в 1911 году голландский физик Хейке Камерлинг-Оннес обнаружил, что при охлаждении ртути до температуры, превышающей абсолютный нуль на 4,1 градуса, она полностью теряет свое электрическое сопротивление. Причем резко, скачком. Так же, как и ртуть, теряли сопротивление свинец, алюминий, олово, цинк и ряд других металлов. Явление это было названо сверхпроводимостью. В кольце из такого сверхпроводника ток мог «крутиться» сколько угодно, сохраняя энергию магнитного поля. Беда лишь в том, что даже при небольшом возрастании тока или внешних магнитных полей перечисленные металлы утрачивали свойство сверхпроводимости.

В течение полувека эти сверхпроводники, названные сверхпроводниками первого рода, практического применения не нашли. Но в 1961 году советские ученые предсказали возможность создания более совершенных сверхпроводников второго рода, а американские специалисты испытали такой сверхпроводник — проволоку из сплава ниобия с оловом, а затем ниобия с титаном. Через проволоку пропускали громадные токи, вокруг нее создавали гигантские магнитные поля, и ничего ей не делалось, свойство сверхпроводимости оставалось.

В кольце из сверхпроводника второго рода можно запастись и хранить без потерь очень большую энергию; в таком кольце ее примерно в семь раз больше, чем в равной по объему батарее конденсаторов.



Конечно, кольцо это держат не при комнатной температуре, его помещают в специальный термос для хранения холодных жидкостей — криостат. В криостат заливают жидкий гелий при температуре, близкой к абсолютному нулю. Чтобы жидкий гелий испарялся не слишком сильно, его окружают так называемым азотным экраном. Азотный экран — это слой жидкого азота поверх сосуда с жидким гелием. Испаряясь, жидкий азот уменьшает испарение более холодного и дорогого гелия.

Одна из первых моделей такого накопителя была испытана в 1970 году. В сверхпроводящем «электромагните» — соленоиде — была накоплена энергия в 10 кДж. Плотность энергии накопителя составляла около 40 кДж/кг.

До какого же предела можно «накачивать» энергию в сверхпроводящий магнит? Оказывается, этот предел диктует не что иное, как... механическая прочность.

Вот уж чего я не ожидал! Коварство сверхпроводящего кольца с током заключается в том, что магнитное поле, развиваемое им, воздействует прежде всего на само кольцо. Как в электромоторе магнитное поле, действуя на обмотки, вращает вал, так и в сверхпроводящем кольце магнитные силы пытаются разорвать его. А поскольку магнитные поля и токи здесь громадны, то силы, разрывающие кольцо, очень велики. Сплавы же ниобия, из которых изготавливают проволоку для кольца, увы, совсем непрочны. Куда им до стальных или синтетических материалов! Эта недостаточная механическая прочность и является досадной причиной, сдерживающей «накачку» сверхпроводника током, а значит, и получение энергии высокой плотности.

Ученые в своих проектах отдают предпочтение гигантским сверхпроводящим накопителям. И у них есть на то веские основания. Известно, что площадь поверхности какого-либо тела пропорциональна квадрату его размеров, а объем — кубу. С увеличением размеров увеличивается отношение объема к площади поверхности. Для сверхпроводящих накопителей это имеет немаловажное значение. От объема криостата зависит величина обмотки накопителя и, следовательно, количество запасаемой энергии, а от площади — интенсивность испарения содержащихся в нем жидких холодных газов — гелия, азота. Чем больше объем и меньше поверхность криостата, тем экономичнее накопитель.

Сверхпроводящий накопитель требует значительного числа вспомогательных устройств, обслуживающих его во время работы. Это и холодильные установки, и системы обеспечения энергией для управления, выпрямительные станции, преобразователи и многое, многое другое. Конечно, все это окупается лишь в очень крупном накопителе.



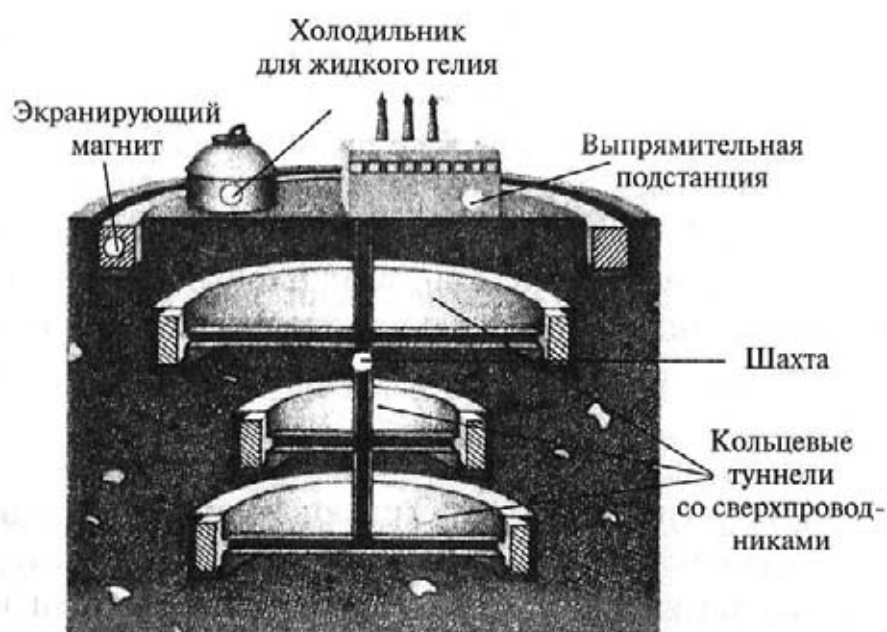
Японские ученые подсчитали, например, что сверхпроводящие накопители становятся выгодными лишь тогда, когда запас энергии в них превышает 1 млн МДж. Масса такого накопителя достигла бы десятков тысяч тонн. А пока самые крупные сверхпроводящие накопители в России способны запастись только сотнями мегаджоулей, причем обмотки у них весят сотни тонн. Чуть больше подобные накопители за рубежом.

Какими же видятся ученым сверхпроводящие накопители будущего?

В одном из проектов французских специалистов это гигантский криостат-бублик диаметром 136 м и высотой свыше 20 м. Сечение обмотки — 17 м. Криостат заполняют жидким гелием, предусмотрен и азотный экран. Кольцо из сверхпроводника заключают в медные или алюминиевые оболочки и усиливают прочными бандажами. В обмотке течет ток в 140 кА (килоампер), а плотность тока достигает огромной величины — 3 кА на 1 мм<sup>2</sup> сечения обмотки! В таком гиганте может аккумулироваться до 10 млн МДж энергии.

Чтобы было ясно, насколько это много, напомним, что всего 25 МДж нужно автомобилю для прохождения пути в 100 км. Если даже пробег автомобиля увеличить до 400 км, что примерно равно дневному пробегу такси, то энергии накопителя хватит для питания 100 тыс. такси в день! Эта энергия, накопленная ночью, позволила бы устранить дневные перегрузки всех электростанций такой большой страны, как Франция.

Немецкие ученые спроектировали накопитель диаметром 250 м и высотой 50–70 м. Криостат с жидким гелием и помещенной в него обмоткой из титан-ниобиевого сплава упрячут под землю. Под стать размерам и предполагаемая энергия накопителя. В своем проекте немец-



Сверхпроводящий накопитель в разрезе



кие ученые собираются применить интересное новшество — огромные нагрузки, действующие на обмотку, они намерены частично «переложить» на грунт, в который будет зарыт накопитель. Специальные распорки должны будут «упираться» в корпус криостата, а он, в свою очередь, — в окружающие его породы.

Проекты эти, конечно, впечатляют, кажутся чуть ли не фантастикой. И если вдуматься, привлекательны они пока только на бумаге. Слишком много в них уязвимых мест.

Взять хотя бы поддержание сверхнизких температур в криостатах, масса которых миллионы тонн, а объем — десятки миллионов кубометров. Где достать столько жидкого гелия? Чем восполнить расход на его непрерывное испарение? Кроме того, очень сложны выводы тока из накопителей — они ведь тоже должны быть сверхпроводниками, то есть находиться при температурах, близких к абсолютному нулю, а это трудно выполнить. Зарядка и разрядка таких накопителей производится только постоянным током, а промышленности нужен ток переменный.

Но это еще куда ни шло, дальше совсем плохо. Чтобы корпус накопителя равномерно упирался в грунт, распорки надо проложить внутри криостата, в жидком гелии. Однако тогда сильно возрастет приток тепла в криостат, что вызовет дополнительное испарение жидкого гелия! Огромные магнитные поля, возникающие вокруг гигантских сверхпроводящих обмоток, могут оказать опасное воздействие на живую природу и человека. Природа «привыкла» к действию весьма слабых полей земного магнетизма и чутко реагирует на их изменение. А тут вдруг в жизнь природы «вмешаются» магнитные поля в миллионы раз сильнее!

И наконец, представим, что случится, если сверхпроводник вдруг разорвется или потеряет свойство сверхпроводимости. А это не исключено. Достаточно чуть-чуть подняться температуре жидкого гелия, и вся колоссальная энергия накопителя выделится почти мгновенно. Спасут ли положение специально предусмотренные медные обмотки, по которым должен пойти ток в случае аварии, — неизвестно.

Возможно, специалисты найдут решение перечисленных проблем, тогда уже в недалеком будущем подобные накопители станут реальным хранилищем энергии. Кое-что сделано уже сегодня — получены сверхпроводники, способные работать при гораздо более высоких — «азотных» — температурах. Прилагаются немалые усилия, чтобы отыскать такие материалы, чьи сверхпроводящие свойства проявлялись бы при комнатных температурах. Но как бы ни развивалось данное направление энергетики, задача создания простой, емкой, надежной «энергетической капсулы», которую к тому же можно было бы разместить на автомобиле, по-прежнему остается чрезвычайно актуальной. Ведь сверхпроводящие гиганты совершенно непригодны в качестве источника энергии для автомобиля.



## Плюс химия

Теперь мне стало ясно, почему на автомобили устанавливают обычные электроаккумуляторы, а не конденсаторы или сверхпроводящие магниты.

Действительно, автомобильные аккумуляторы могут месяцами хранить энергию, причем в достаточно большом количестве. Я сам видел, как иногда автомобили «гоняют на стартере»: включают стартер, питаемый от аккумуляторов, вроде бы для заводки двигателя, но привода на колеса при этом не отключают, как положено по инструкции, — и машина катит по улице. А ведь энергия аккумулятора здесь расходуется не только на движение автомобиля, но и на прокрутку двигателя. Не будь этой прокрутки, автомобиль смог бы пройти «на стартере» больше километра — настолько велика емкость аккумуляторов. Похоже, известные всем нам автомобильные электроаккумуляторы пока ближе всего к «энергетической капсуле».

Позвольте, но так ли уж они известны? Однажды ко мне пришел знакомый мальчик лет шести и в разговоре сказал, что знает, как устроен телевизор. На мой вопрос, может ли он нарисовать его схему, мальчик ответил утвердительно. Однако удивление мое быстро прошло, когда вместо схемы он изобразил переднюю панель телевизора. «Это экран, это ручка громкости, это яркость...» — перечислял он.

Вот так же и я представлял себе электроаккумулятор — пластмассовый ящик с клеммами, внутри которого находятся пластины и кислота, часто называемая «аккумуляторной». Что происходит внутри аккумулятора, каким образом он накапливает энергию — все это было мне невдомек.

Оказалось, что я не одинок в своем неведении. Никто из водителей, которых я расспрашивал о принципе работы аккумулятора, не дал вразумительного ответа. Мне говорили: он накапливает энергию потому, что к клеммам подсоединяется генератор или выпрямитель, которые и подают в аккумулятор ток. После этого уже сам аккумулятор становится источником тока до тех пор, пока не разрядится. Вроде бы понятно. А почему таким свойством обладает именно аккумулятор, а не кирпич, например? Да потому, дескать, что он так устроен.

Этих сведений мне было явно недостаточно. Пришлось в который раз сесть за книги.

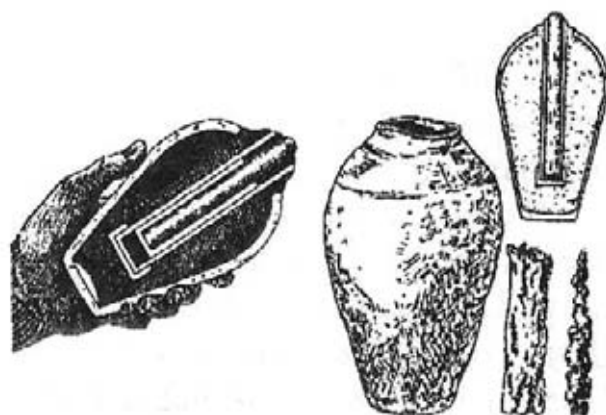
История электроаккумуляторов берет начало со знаменитого опыта, сделанного итальянским физиком Алессандро Вольтой в 1799 году. Ученый опустил медный и цинковый электроды в разбавленную серную кислоту и обнаружил, что между электродами возникла разность потенциалов. Соединив электроды проводником — проволочкой,



Вольта получил электрический ток. Тем самым он доказал, что различные металлы, помещенные в растворы кислот, образуют источник тока.

Это был первый в мире гальванический элемент, названный так в честь итальянского физика и врача Луиджи Гальвани, который еще до Вольты заметил появление тока при взаимодействии двух разных металлов, замыкаемых через живую ткань — лапку препарированной лягушки. Гальвани, правда, считал, что это электричество «животное» и вырабатывается оно мышцами.

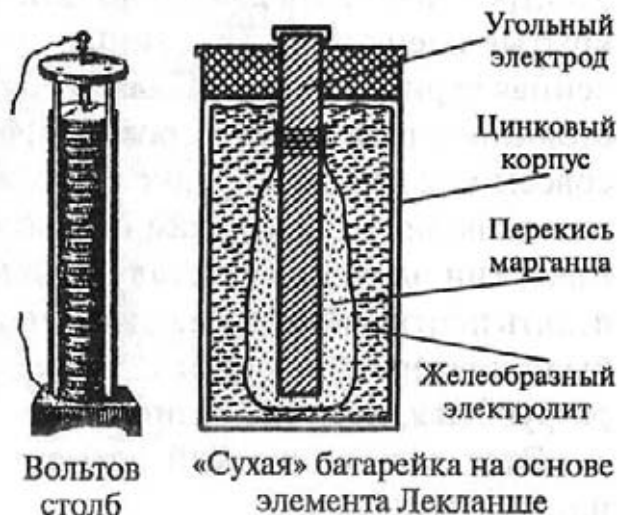
Правда, есть сведения, что гальванические элементы существовали и в древности. Во время археологических раскопок были найдены глиняные кувшины с напоминающими электроды цилиндрами из разных металлов, причем некоторые ученые считают, что электролитом тогда служили вино или уксус. И будто бы с помощью этих элементов древние мастера умели делать гальванические покрытия: например, наносили тончайшую пленку золота или серебра на украшения.



Древняя электрическая батарейка

Так или иначе, огромная заслуга Вольты состоит в том, что он не только построил гальванический элемент, но и объяснил его действие, чего по вполне понятным причинам не могли сделать древние.

Элемент Вольты давал очень маленькое напряжение. Чтобы повысить его, стали изготавливать батареи из медных и цинковых пластин, переложенных прокладками, смоченными серной кислотой. Батареи эти, названные вольтовыми столбами, обеспечивали уже достаточно большое напряжение. После Вольты немало ученых — Жорж Лекланше, Якоб Даниэль, Вильям Грове и другие — разрабатывали свои, все более и более совершенные гальванические элементы. Элемент Лекланше, например, послужил прообразом современных «сухих» батарей, используемых для питания карманных фонариков, радиоприемников, электрифицированных игрушек и прочих устройств. Электроды таких батарей, как когда-то у Жоржа



«Сухая» батарейка на основе элемента Лекланше



Лекланше, твердые — цинковый стаканчик и графитовый стержень. А вот электролит уже не жидкий. Ведь жидкость может в любой момент пролиться, а делать элемент герметичным дорого и сложно. Вот и заменили жидкость желеобразным электролитом. Получился удобный и практичный источник электричества.

Если через разряженную сухую батарею особыми импульсами пропустить ток, ее можно вновь «оживить». Эту операцию порой проделывают по несколько раз. Однако она ненадолго восстанавливает элемент.

Постойте-постойте... Как бы там ни было, получается, что гальванический элемент — тот же аккумулятор! Заряжая его электрическим током, восстанавливая, мы накапливаем в нем электроэнергию, которую затем расходует. Так ли это?

Оказывается, и так и не так. Прежде всего, не каждый гальванический элемент можно подзарядить. Нельзя это сделать, например с элементом, который состоит из двух электролитов. Таков элемент Даниэля, где две разные жидкости разделены пористым стаканчиком. Постепенно просачиваясь через стаканчик, электролиты смешиваются, реагируют друг с другом и выделяют ток. Этот элемент, если он уже отработал свой срок, не восстановишь.

Другие элементы с твердыми электродами в принципе подзаряжаются, накапливают энергию. Но процесс накопления столь неэкономичен и неэффективен, что многие считают подзарядку таких элементов неоправданной. Накапливается только ничтожная часть поданной на элемент электроэнергии, а сам элемент после нескольких таких зарядок разрушается. Чтобы стать хорошим накопителем, гальванический элемент должен достаточно хорошо «переносить» процесс зарядки. И этого наконец удалось добиться в середине XIX века.

В 1859 году французский ученый и инженер Гастон Планте провел любопытный опыт, внешне очень похожий на опыт Вольты. Как и Вольта, Планте построил гальванический элемент, однако в качестве электродов он взял две свинцовые пластины, в обычных условиях покрытые пленкой окиси свинца. Электролит был все тот же — разбавленная серная кислота. Планте подключил к электродам источник постоянного тока и некоторое время пропускал ток через свой элемент, совсем как при подзарядке сухих элементов. Потом он отключил ток и подключил к электродам гальванометр. Прибор показал, что гальванический элемент сам стал вырабатывать электроток и при этом выделять почти всю энергию, затраченную на его зарядку. Зарядку можно было повторять много раз: элемент неизменно работал исправно и не разрушался, подобно сухим батареям.

Этот гальванический элемент называли элементом второго рода, или аккумулятором.

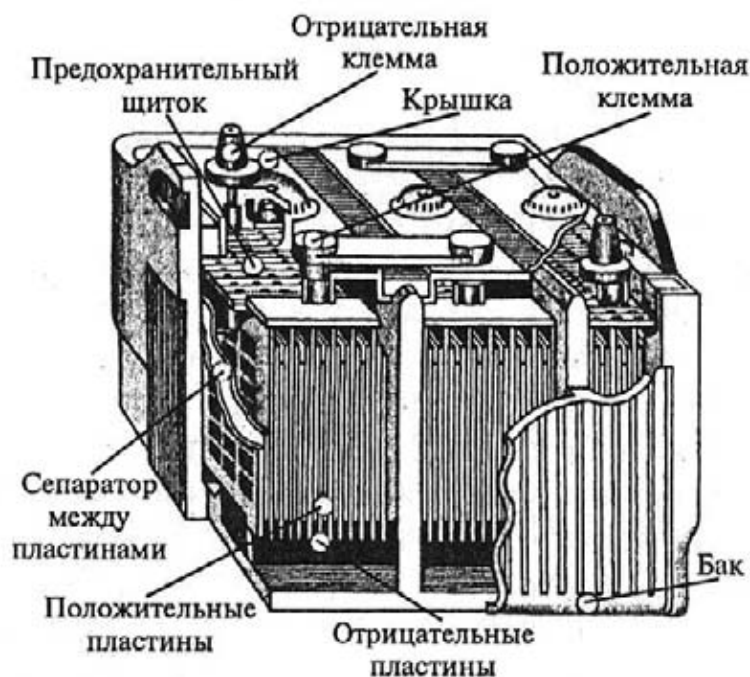


Как же происходит накопление энергии в аккумуляторе Планте? При пропускании тока через электролит из серной кислоты на свинцовой пластине, соединенной с отрицательным полюсом источника тока — катодом, — выделяется водород, который восстанавливает окись свинца в чистый свинец. На электроде, соединенном с положительным полюсом — анодом, — выделяется кислород, который окисляет окись свинца до перекиси. Аккумулятор зарядится в тот момент, когда катод целиком станет чистым свинцом, а анод — перекисью свинца. Тогда между электродами окажется наибольшее напряжение.

Соединяя пластины-электроды проводником с потребителем, расходуя энергию, мы разряжаем аккумулятор. Направление тока при разрядке противоположно тому, что было при зарядке. Положительно заряженная пластина будет восстанавливаться водородом, а отрицательная — окисляться кислородом. Как только пластины станут одинаковыми, аккумулятор прекратит давать ток. Надо повторить зарядку.

Ясно, что энергия в таком аккумуляторе накапливается не в виде электрического или магнитного поля, как в предыдущих накопителях электрической энергии, а в виде вполне осязаемого вещества — свинца, переходящего с выделением энергии в перекись свинца. Сам процесс накопления и выделения энергии здесь происходит иначе, нежели в чисто электрических аккумуляторах — конденсаторах и электромагнитах. Поэтому такой аккумулятор принято называть электрохимическим.

В конструкциях автомобильных свинцово-кислотных аккумуляторов ученые постарались как можно больше увеличить поверхность электродов, не нарушая при этом их прочности. Ведь именно от величины поверхности зависит энергоемкость аккумулятора. Сейчас пластины аккумулятора изготавливают в форме свинцовых решеток, покры-



Свинцово-кислотный аккумулятор



тых перекисью свинца (положительный электрод) и губчатым свинцом (отрицательный электрод). Электролитом служит 25–35%-ный водный раствор серной кислоты. Заряженный автомобильный аккумулятор имеет напряжение (точнее, электродвижущую силу) на клеммах 2–2,2 В. При разрядке это напряжение падает, и когда оно достигает 1,8 В, разрядку обычно прекращают, иначе решетка из свинца может слишком истончиться в ходе реакции, и пластины, потеряв прочность, рассыплются.

Мне очень хотелось узнать, что будет с аккумулятором, если попробовать хотя бы кратковременно получить от него ток большой мощности. Однажды я упросил одного знакомого водителя включить стартер, питаемый, как известно, от аккумулятора, при не включенном двигателе. Двигатель, естественно, не завелся, а секунд через 15–20 стартер начал сбавлять обороты. Еще через некоторое время он вообще остановился. Было полное впечатление, что аккумулятор разрядился и больше из него «выжать» ничего нельзя. Я думал, водитель рассердится, скажет, мол, видишь, к чему привели твои опыты. Но он неторопливо выключил стартер, а потом, спустя пару минут, снова включил его. Стартер заработал! Откуда взялись «силы» у аккумулятора? Не мог же он, как живое существо, «отдохнуть»!

В самом деле, поведение аккумулятора и живого организма здесь поразительно похоже. При усталости мышц от интенсивной работы их сила резко снижается, и нужно время, чтобы силы восстановились. Человек сделает гораздо больше, если он будет работать без спешки, неторопливо, с постоянной, но умеренной нагрузкой. Например, если попытаться бегом подняться на 20-й этаж дома, — без остановок это вряд ли получится, потребуется отдых. Да и с остановками усталость будет ощущаться немалая. А если идти спокойно, то 20 этажей можно преодолеть без особых усилий.

Так и в аккумуляторе: при включении его на большую мощность серная кислота, которая находится в порах пластин, быстро израсходуется, в результате реакции она превратится в воду, и выделение тока прекратится. Только через некоторое время, когда серная кислота постепенно вновь заполнит поры, можно опять разряжать аккумулятор.

Поэтому разряжают и заряжают аккумуляторы — это касается практически всех видов электрохимических аккумуляторов — обычно с достаточно малой нагрузкой, небольшими токами и продолжительное время — несколько часов. Здесь и кроется один из главных недостатков электрохимических аккумуляторов — их малая мощность, приходящаяся на килограмм массы аккумулятора, так называемая удельная мощность, или иначе — плотность мощности.

Свинцово-кислотные аккумуляторы весьма экономичны, однако они и капризны, часто портятся, недолговечны. К тому же свинец — сравнительно редкий и дорогой металл, а кислота — опасна



в обращении. Естественно, что ученые стали искать новые материалы и новые принципы работы аккумуляторов. Так возник второй основной тип электрохимических аккумуляторов — щелочные аккумуляторы. Создание их тесно связано с именем знаменитого американского ученого и изобретателя Томаса Эдисона. Знаменитый изобретатель «всех времен и народов» Томас Алва Эдисон был моим кумиром. Я очень хотел походить на него стремлением к цели и работоспособностью, правда, не всегда удачно мне это удавалось.

В аккумуляторах Эдисона электролитом служит уже не кислота, а щелочь — 20%-ный раствор едкого кали. Пластины изготовлены из стальных решеток с карманами. У положительных пластин карманы заполнены смесью, содержащей окись никеля, а у отрицательных — губчатым кадмием. Корпус щелочного аккумулятора стальной, что придает устройству большую прочность.

Щелочные аккумуляторы дороже кислотных и менее экономичны. Но, несмотря на это, в них больше достоинств, чем недостатков — они неприхотливы, прочны, долговечны. Поэтому они находят все большее применение в технике. Например, на троллейбусах применяются именно такие накопители. Их можно видеть также в транзисторных приемниках, телефонных и слуховых аппаратах, карманных фонариках и в других устройствах. Во многих радиоприборах присутствуют



Щелочной «кнопочный» аккумулятор

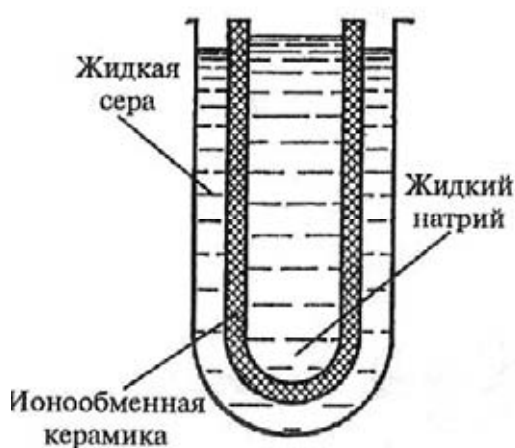
миниатюрные аккумуляторы, тоже щелочные, под названием «кнопочные», так как они внешне напоминают кнопку. Ценность их состоит в том, что они герметично закрыты, совершенно нечувствительны к перезаряду и переразряду, не требуют ухода. Обычные крупные аккумуляторы этим «похвастать» не могут.



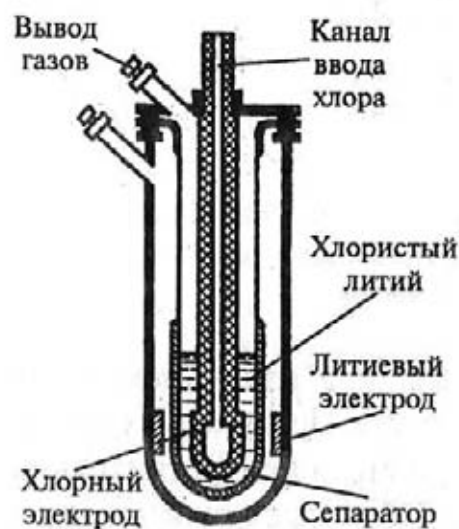
На некоторых спутниках связи, космических станциях и даже в бытовых приборах применяются очень дорогие, но зато великолепные по своим характеристикам серебряно-цинковые щелочные аккумуляторы. Им нипочем ни большие токи, ни низкие, до  $-60^{\circ}\text{C}$ , температуры. Они характеризуются плотностью накапливаемой энергии, в пять раз большей, чем кислотные аккумуляторы, а плотностью мощности — вдвое большей.

Всем хорош серебряно-цинковый аккумулятор, хоть сейчас ставь его на автомобиль. Масса аккумулятора для прохождения стокилометрового пути не превысит 100 кг..

Но, увы, стоимость такого аккумулятора будет во много раз выше стоимости самого автомобиля. И надежд на его удешевление нет никаких — серебра на Земле становится все меньше и меньше, а дорожает оно на мировом рынке все больше и больше. Чтобы аккумулятор мог стать поистине массовым и перспективным, он должен содержать материалы, которых на Земле вдоволь.



Серно-натриевый аккумулятор



Хлорно-литиевый аккумулятор

Сейчас ученые связывают свои надежды с необычным на первый взгляд аккумулятором, в котором используются гальванические пары «сера — натрий» и «хлор — литий». Металлы там находятся в виде расплавов, их температура достигает нескольких сотен градусов. Расплавленный натрий соединяется в аккумуляторе с горячей жидкой серой, а литий взаимодействует с раскаленным газом — хлором. Из-за того что такие аккумуляторы работают при температурах  $300-800^{\circ}\text{C}$ , они получили название горячих.

Происходящее внутри горячих аккумуляторов почему-то мне сразу напомнило описание мифологического ада, о котором я в детстве немало читал. Достаточно было представить расплавленную серу, в которой «варится» расплавленный натрий, тот самый натрий, что уже от воды загорается и даже взрывается! О хлоре и говорить нечего — это один из наиболее ядовитых газов, чрезвычайно активный даже при комнатной температуре, а что будет при восьмистах



градусах! Недаром ученые уже который год бьются над созданием корпуса к этому «адскому» накопителю — мало какой материал способен выдержать такую начинку.

Однако горячие аккумуляторы при низкой стоимости развивают плотность энергии раз в десять большую, чем свинцово-кислотные аккумуляторы, и плотность мощности у них значительно выше. Если свинцово-кислотные аккумуляторы накапливают в килограмме своей массы 64 кДж энергии, а щелочные — 110, то горячие серно-натриевые — 400–700 кДж!

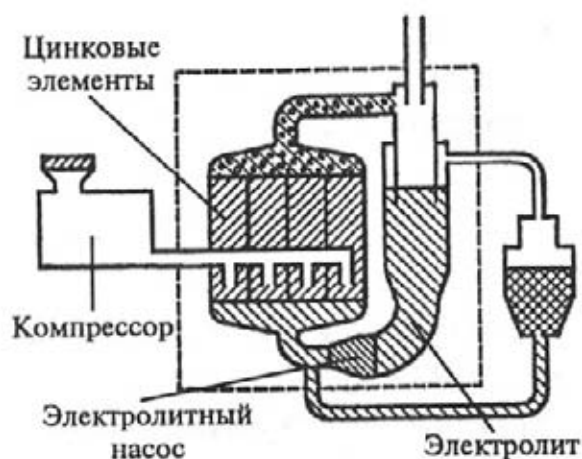
Автомобилю на 100 км пути хватило бы всего 50 кг серно-натриевого аккумулятора, на 300 км — 150 кг. Это неплохие показатели. Но... горячие аккумуляторы перед началом работы надо разогревать, их оболочка не выдерживает долго «адского» содержимого. Да и при аварии машины с таким аккумулятором оказаться даже в качестве зрителя — тоже небезопасно.

Более спокойный «характер» у новых — медно-литиевых аккумуляторов. Они имеют катод из медного сплава и анод из пористого лития. Электролит органический, с высокой электропроводностью. Плотность энергии у опытных образцов таких аккумуляторов в полтора раза выше, чем у серебряно-цинковых, и, что самое важное, они способны развивать высокую удельную мощность. Если же вместо меди взять фтористое соединение никеля, то и процесс зарядки аккумулятора можно сильно сократить, — всего до нескольких минут.

Интересны аккумуляторы на основе цинка и... обычного воздуха. Цинковый анод здесь просто окисляется кислородом воздуха, поэтому весь запас энергии в аккумуляторе зависит только от количества цинка. Катод изготовлен из пористого никеля и почти не расходуется, а анод по мере износа заменяется новым или восстанавливается пропусканием зарядного тока.

Своеобразие этих устройств заключается в том, что они могут работать как в режиме аккумуляторов, так и в режиме обычных гальванических элементов, попросту «сжигая» цинк в кислороде воздуха. Именно в этом случае цинковые аноды приходится заменять, но гальванический элемент при этом будет обладать вдвое большей плотностью энергии по сравнению с аккумулятором.

Однако как ни хороши описанные выше аккумуляторы-рекордсмены, специалисты все-таки считают, что проблему создания



Воздушно-цинковый аккумулятор



современного электромобиля с дальностью пробега 120–150 км должны решить не они, а дешевые и недефицитные никель-цинковые аккумуляторы. По плотности энергии и мощности такие аккумуляторы находятся между обычными и серебряно-цинковыми аккумуляторами.

Тем не менее будущее, хотя и отдаленное, все же за горячими аккумуляторами, несмотря на все трудности и неудобства, связанные с их созданием и эксплуатацией. Их разработкой занимаются самые солидные фирмы и институты, в том числе и у нас в стране. Успехи же весьма скромные — создать конструкцию такого накопителя для серийного производства до сих пор не удалось. Из лабораторий горячий аккумулятор пока не вышел. Вряд ли мне будет под силу тягаться в этом с целыми научными коллективами.

Особенно смутило меня то обстоятельство, что теоретический предел у электрохимических аккумуляторов уже близок. По расчетам ученых, основной показатель аккумулятора — плотность энергии — можно еще повысить максимум в три-четыре раза. Безусловно, маловато получается для «капсулы». Кроме того, как я хорошо знал, подойти вплотную к теоретическому пределу невероятно сложно. Вспомнить хотя бы, сколь трудным оказалось подобраться к абсолютному нулю температуры, к полному вакууму, к совершенно чистым материалам. Подобных примеров можно привести множество из самых разных областей человеческой деятельности.

Поэтому, отдавая должное всесилию электричества и бесспорным преимуществам электроаккумуляторов, я все-таки мечтал найти такой накопитель, теоретический предел которого если не бесконечен, то хотя бы отодвинут достаточно далеко. Лишь тогда можно будет всерьез говорить об «энергетической капсуле».

## Электромобили

Прежде чем расстаться с электроаккумуляторами, я решил испытать их на электромобиле. Все прочитанное мною про электромобиль было настолько противоречиво, что мне захотелось непременно составить о них собственное мнение.

На электромобили иногда смотрят как на какую-нибудь новинку. А ведь они были созданы задолго до первого автомобиля с двигателем внутреннего сгорания. Как только в 30-х годах XIX века появился первый электродвигатель, его сразу же поставили на экипаж. Работал этот двигатель от батареи гальванических элементов.

Автором первого в мире электромобиля был англичанин Роберт Дэвидсон. Его машина, построенная в 1837 году, представляла собой четырехколесную коляску длиной 4,8 и шириной 1,8 м с метровыми колесами, то есть достаточно крупное сооружение. Большую часть



коляски занимали батарея гальванических элементов и пока еще примитивный, внушительных размеров электродвигатель. О ходовых качествах этого электромобиля достоверных сведений не сохранилось.

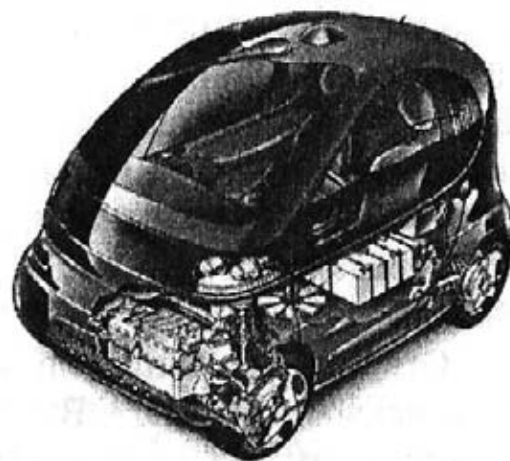
В России первый электромобиль сконструировал инженер Ипполит Романов в 1896 году. Машина имела скорость 25 км/ч и запас хода 40 км. Вскоре тот же И. Романов построил первые электрические автобусы, на 15 пассажиров каждый. Талантливый инженер мечтал создать в Петербурге широкую сеть электроавтобусов для перевозки пассажиров, им был составлен подробный план всех необходимых работ. Однако этому плану не суждено было сбыться.

В самом начале прошлого века электромобилей было уже так много, что в американском городе Чикаго, например, их число вдвое превышало число автомобилей! Электромобилисты чувствовали себя тогда весьма уверенно — даже мировые рекорды скорости принадлежали им, а не автомобилистам. Еще в 1898 году этот рекорд был равен 63 км/ч, а годом позже — 105,9 км/ч. По тем временам это было совсем немало.

Впоследствии, когда стали добывать много дешевого бензина (он поначалу даже считался побочным продуктом перегонки нефти, и его просто сжигали!), автомобили вытеснили своих электрических собратьев. Для подзарядки электромобилей, число которых сильно возросло, уже не хватало мощности электростанций.

Сегодняшний возврат к электромобилям (как и к паромобилям, воздухомобилям и т. п.) вызван отнюдь не тем, что у инженеров появились какие-нибудь принципиально новые идеи, связанные с коренным улучшением электромобилей. Нет, просто стало трудно дышать в крупных городах из-за выхлопных газов двигателей, и к тому же быстро кончаются мировые запасы топлива. Отсюда возникла необходимость спешно найти замену автомобилю с двигателем внутреннего сгорания. Вот и вспомнили про электромобили.

Как я уже сказал, меня удивляла противоречивость сообщений об электромобилях. Например, в одной из публикаций я прочел, что французские инженеры построили электромобиль с дальностью пробега 500 км, а скорость и разгон у него — ну прямо как у спортивных автомобилей. Спустя какое-то время после этого сообщения американские специалисты решительно заявили, что электромобили пока



Французский городской электро-мобиль «Пюльпан»





Российский грузовой электромобиль, используемый на ВВЦ

способны проходить лишь 50–60 км с одной зарядки, максимальная скорость у них не выше 80 км/ч, а разгон — и вовсе никуда не годится. В гору такой электромобиль вообще не может быстро двигаться. По своим характеристикам это скорее не электромобиль, а электрокар — аккумуляторная тележка, какие ездят по территории заводов.

Чего только не приходилось читать и про зарядку аккумуляторов. Писали, например, что уже созданы

электронные установки для зарядки аккумуляторов за считанные минуты и чуть ли не секунды. Но тем не менее до сих пор аккумуляторы еще заряжают в течение многих часов.

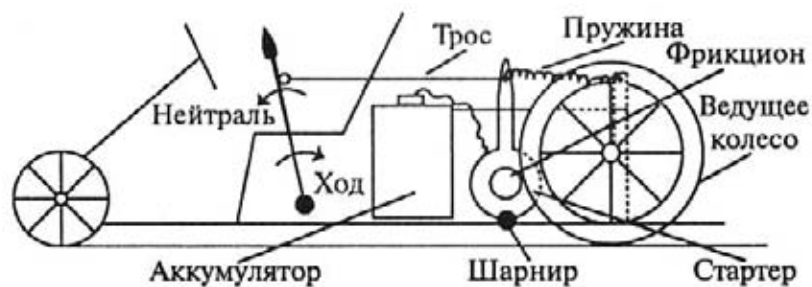
Короче говоря, я задумал построить модель электромобиля, чтобы все проверить самому. Признаться, осуществить задуманное оказалось нелегко. Постоянно вставали вопросы: «Где раздобыть то?», «Где найти это?». Но раз уж взялся за дело, нужно было доводить его до конца.

В своей конструкции я использовал раму от маленького спортивного автомобиля — карта. Задние колеса взял побольше, от мопеда, а передние — от детского самоката. На раму позади сиденья поставил одну аккумуляторную батарею от автомобиля МАЗ (там две такие батареи), которую выпросил на время у знакомого водителя. Масса этой батареи — около 40 кг, батарея была совершенно новая и очень емкая.

В качестве тягового двигателя я применил стартерный двигатель от легкового автомобиля. Правда, двигатель пришлось разобрать и заменить в нем шестерню таким же по размеру стальным цилиндром с накаткой, как у напильников, для большей шероховатости. Впоследствии я убедился, что можно было и не снимать шестерню, а посадить на зубья стальное кольцо с накаткой, залив пространство между зубьями эпоксидным клеем. Такие цилиндры или кольца, передающие движение трением, в технике называются фрикционными.

Стартерный двигатель я установил у одного из задних колес, на качающемся рычаге. Вместе с фрикционом двигатель прижимался к колесу пружиной. С аккумуляторной батареей он был соединен несколькими толстыми проводами так, чтобы к нему можно было подключать различное напряжение: 6, 8, 10 и 12 В. Один провод — общий,





Мой микроэлектромобиль

а другие подключались к клеммам стартера через соответствующие переключатели. Каждому напряжению соответствовал отдельный переключатель. Получилась своеобразная коробка передач.

Управление машиной было несложным — руль и переключатели, которые обеспечивали нужную скорость. Тормоза я взял от мопеда. Задние колеса посадил на ось с помощью подшипников, привод был только на одно колесо. Это давало возможность автомобилю свободно поворачивать вправо и влево. Такие приводы характерны для микро-мобилей.

Я немало поездил на своем электромобиле. Выбирал и ровные, и наклонные дороги, развивал на некоторых участках скорость до 40 км/ч. Единовременный пробег в разных дорожных условиях составлял около 10 км, дальше разряжать аккумулятор было ни к чему — он мог испортиться. Соотношение массы аккумулятора и мощности двигателя (стартера) с массой электромобиля (а он весил со мной вместе до 100 кг) оказалось примерно таким же, как и у стандартных зарубежных электромобилей. Поэтому мои выводы могли быть распространены на все эти машины. А выводы были следующие: электромобиль прекрасно идет по ровным дорогам с постоянной скоростью; дальность пробега электромобиля в этих условиях может быть достаточно большой, в расчете, конечно, на емкие аккумуляторы; разгоняется электромобиль очень вяло, медленно набирает скорость. Он не может вписаться в городское движение. У светофора, например, он будет сдерживать всю колонну автомобилей позади себя; в гору электромобиль либо не едет вообще, либо едет очень медленно и очень недолго; аккумуляторы при этом мгновенно «сажаются»; торможения и разгоны катастрофически сокращают дальность пробега электромобиля; десяток торможений и разгонов до предельной скорости поглощает всю энергию аккумулятора; зарядка аккумуляторов удручающе длительна.

В чем тут дело? Казалось бы, электродвигатель обладает всеми положительными качествами, необходимыми автомобилю, — способностью переносить перегрузки, удобством управления, экономичностью. Троллейбус, который приводится в движение электромотором,



при разгонах оставляет далеко позади себя автобусы с двигателем внутреннего сгорания, перегоняет их при движении на подъемах. Почему же электромобиль отстает от троллейбуса?

Да потому, что троллейбус получает энергию извне, от электросети, а электромобиль — от собственной батареи. А электроаккумуляторы, даже с большой плотностью энергии, обеспечивающей долгий пробег, имеют очень небольшую плотность мощности. Этот показатель у электроаккумуляторов во много раз ниже, чем у автомобильных двигателей.

Например, хороший двигатель массой 100 кг развивает мощность до 80–100 кВт. А аккумуляторная батарея той же массы — не более 8 кВт! И то при этом она достаточно быстро разряжается. Для того чтобы полностью сравняться с автомобилем, электромобиль должен иметь аккумулятор, основные показатели которого — плотность энергии и мощность — были бы в пять-десять раз выше нынешних. Что ж, видимо, этим и придется заняться специалистам.

## Водородные генераторы

В романе Жюль Верна «Пять недель на воздушном шаре» и в некоторых других его произведениях упоминается идея получения энергии путем разложения воды электрическим током на водород и кислород, а затем соединения этих элементов снова в воду. Если бы это производилось с помощью не гальванических элементов, а какого-нибудь менее дорогого источника энергии, то метод вполне подошел бы для решения задачи накопления энергии. Во всяком случае, суть «водородного аккумулирования» именно такова.

Представим себе ветроэлектростанцию, которая вырабатывает энергию только тогда, когда есть ветер. Ветер может дуть всю ночь, но в это время электроэнергия практически не нужна, а днем при максимальной потребности в энергии он вдруг стихает. Ветру не прикажешь дуть или не дуть. Заманчиво, конечно, накапливать энергию ночью в электроаккумуляторах, однако их потребуется слишком много, да и долговечность их невелика.

А что если попробовать при избытке электроэнергии, например ночью, использовать ее для разложения воды на водород и кислород? Газы можно накапливать в специальных емкостях — газгольдерах, а потом, при прекращении ветра, сжигать в двигателях внутреннего сгорания или в паровых двигателях с целью последующей выработки электроэнергии. Достаточно вал двигателя, работающего на водородно-кислородной смеси, соединить с валом электрогенератора.

В таком примерно виде этот метод был разработан в прошлом веке известным изобретателем А. Г. Уфимцевым. Но, подсчитав все



«за» и «против», сам же Уфимцев отказался от своей идеи. Дело в том, что КПД газового двигателя внутреннего сгорания не выше 25 %. К тому же для работы на чистом водороде и кислороде ни один из существующих двигателей не предназначен — столь опасная смесь просто взорвет его. КПД паровых двигателей еще ниже. И плюс ко всему — нужно крутить электрогенератор, в котором свои потери энергии. Выходит, что работа целого комплекса сложных машин не принесет желаемого результата, отдача энергии будет счень мала.

Может быть, сделать иначе? Получая из воды водород и кислород, мы пропускаем через нее ток по электродам. Вода, подкисленная или «подщелоченная», является здесь проводником тока, электролитом. А нельзя ли наоборот — подавая кислород и водород снова к электродам, получить взамен ток? Вернуть ту электроэнергию, которая была затрачена на разложение воды?

Оказывается, ученые работают над этим уже давно. Еще в позапрошлом веке было замечено, что если в горячий раствор едкого кали поместить платиновые электроды и к одному из них медленно направить водород, а к другому кислород, то на электродах появится разность потенциалов. Платина играла роль катализатора реакции окисления — восстановления водорода и кислорода. Стоило соединить электроды, как возник электрический ток. Сразу получить большой ток не удалось, и вся последующая работа над прямым преобразованием энергии топлива в электричество заключалась как раз в том, чтобы увеличить мощность этого процесса.

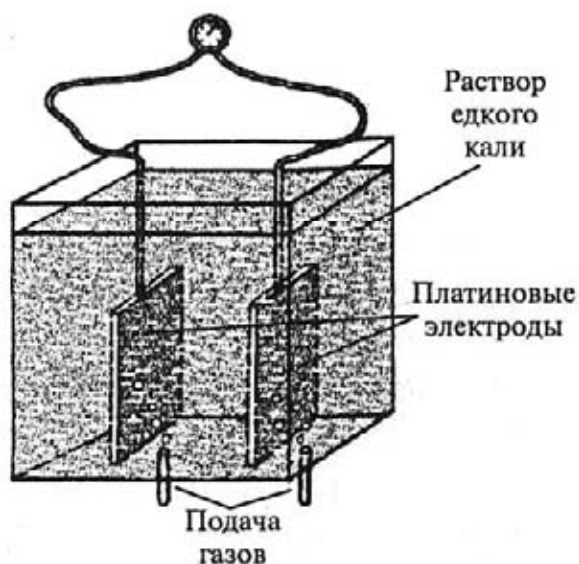


Схема работы топливного элемента

Для преобразования энергии ныне существует множество типов установок, называемых топливными элементами или, если они работают на водороде, водородными генераторами. Есть высокотемпературные (как горячие аккумуляторы) топливные элементы, а есть работающие и при комнатной температуре. Применяются также элементы с промежуточными температурами: 100–200 °С. Электролитами могут служить и щелочь, и кислота, причем в твердом и жидком виде.

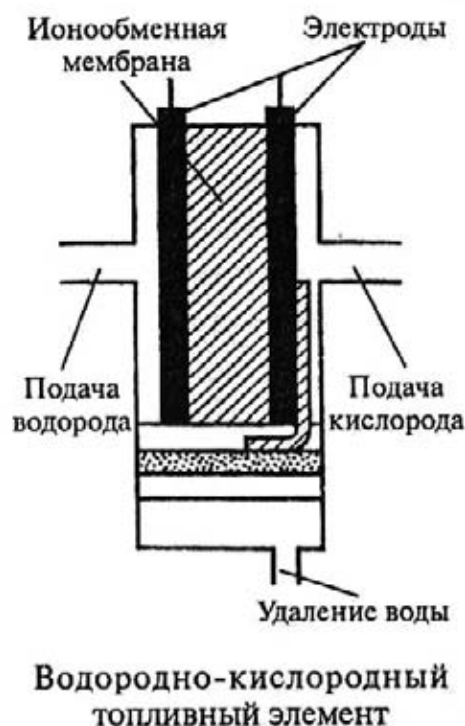
Разнообразно и топливо, которым питаются такие элементы. Это газы — водород и кислород; жидкости — спирт, гидразин; твердые вещества — уголь, металлы. В качестве окислителя используют кислород,



воздух, перекись водорода. КПД топливных элементов очень высок, он достигает 70 %, что, по меньшей мере, вдвое выше, чем у двигателей.

Как же все-таки работает современный топливный элемент?

В водородно-кислородном элементе водород поступает на поверхность отрицательного электрода, а кислород — на поверхность



положительного электрода. Газы эти доставляются к электродам по трубкам. Ионы водорода в процессе реакции окисления — восстановления соединяются с ионами кислорода, образуя обычную воду. Энергия химической реакции передается электродам в виде электрической энергии.

Получаемая в топливном элементе вода удаляется через особый фитиль. Она настолько чистая, что ее можно использовать для питья и приготовления пищи. Так поступают, например, космонавты в длительном полете — на космических станциях тоже установлены топливные элементы. Это еще одно достоинство прямого преобразования топлива в ток.

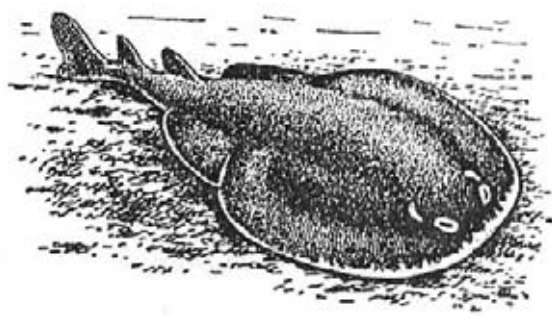
Водородно-кислородные топливные элементы, если брать в расчет только массу топлива — водорода и кислорода, имеют громадную плотность энергии — около 1 МДж/кг. Но ведь надо учитывать и массу самого устройства — топливного элемента со вспомогательным оборудованием. А это уже снижает плотность энергии до уровня обычных электроаккумуляторов — топливные элементы очень тяжелые. Лишь после многочасовой работы, когда будет израсходовано значительное количество водорода и кислорода, топливные элементы окажутся легче электрохимических аккумуляторов с тем же запасом накопленной энергии.

Плотность мощности у топливных элементов совсем небольшая, около 60 Вт/кг, или втрое меньше, чем у горячих аккумуляторов. Для автомобилей это явно недостаточно.

Накопители энергии, принцип работы которых основан на аккумулировании водорода, имеют свои особенности в применении на транспорте, в частности на автомобилях. Об этом будет подробно сказано позже.

Интересно, что прямое преобразование химической энергии в электроэнергию свойственно и некоторым видам рыб, например электрическим скатам. Эта рыба, обитающая в теплых морях, переводит энергию, выделяющуюся при переработке пищи, в электроэнергию,





a



b

Электрический скат — «торпедо» (a)  
и схема его «электрических» органов (b)

совсем как электрохимические генераторы — топливные элементы. Трудно сказать наверняка, но, возможно, скат умеет и накапливать ее, как мы, например, отдыхая, накапливаем силы.

Электрические органы ската, расположенные по бокам головы, весят около пуда. По своему строению они поразительно похожи на батарею гальванических элементов. Состоят эти органы из многочисленных пластинок, несущих положительные и отрицательные заряды, причем пластинки расположены столбиками (как бы соединены последовательно), а столбики связаны между собой. Каждый электрический орган покрыт «электроизолирующей» тканью.

Скат способен давать ток силой 8 А при напряжении 300 В, то есть развивать мощность почти 2,5 кВт, что больше 3 лошадиных сил. Это завидные показатели для электроаккумуляторов, во всяком случае для тех, которые мы используем при запуске автомобильных двигателей. Если подсчитать плотность мощности электрических органов ската, то получится свыше 150 Вт/кг! Как отмечают многие исследователи, создание аккумулятора с плотностью мощности 100—150 Вт/кг открыло бы широкие возможности для применения электрохимических источников тока на транспорте, в частности для привода электромобилей. Сегодняшним аккумуляторным батареям это пока не под силу. Браво, скат!

Но хотя скат и обогнал аккумуляторную технику, не разводить же его специально для накопления энергии. Нет, скат — не «капсула», он и не захочет быть ею, даже если попытаться «одомашнить» его для целей электроснабжения. Да и общество защиты животных будет против!

### Неразгаданная тайна шаровой молнии

Поиски «энергетической капсулы» заставили меня поближе познакомиться и с таким загадочным явлением природы, как шаровая молния. По правде говоря, никто пока точно не знает, накопитель это или нет. Но я с некоторой долей риска все-таки решил считать шаровую молнию аккумулятором энергии.

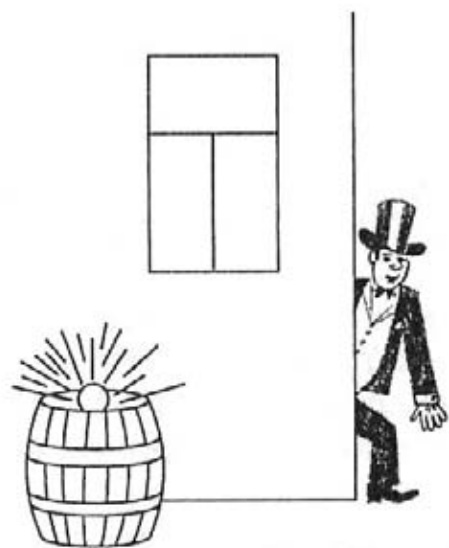


Вот кратко те характеристики шаровой молнии, которые составлены учеными на основе большого количества свидетельств очевидцев: энергия, заключенная в молнии, — от 0,1 до 4 кВт·ч; время существования — от нескольких секунд до минут; масса — от 0,5 до 50 г; плотность — от 0,0013 до 0,015 г/см<sup>3</sup>.

Конечно, у шаровой молнии есть и другие характеристики, например сила свечения, скорость движения и т. д., но меня прежде всего интересовали ее аккумулирующие свойства.

В общей сложности учеными собрано несколько тысяч описаний шаровой молнии, естественно, отличающихся друг от друга. Однако особенно примечателен так называемый «опыт с бочонком», описанный английским профессором Б. Л. Гудлетом. Никто не планировал этот эксперимент, просто обстоятельства сложились столь удачно, что профессор даже смог достаточно точно подсчитать внутреннюю энергию (энергоемкость) шаровой молнии.

Шаровая молния размером с большой апельсин (10–15 см диаметром) залетела в дом через окно на кухне и оказалась в бочонке с водой. Хозяин дома, со страхом ожидавший развязки, заметил, что вода в бочонке, недавно принесенная из колодца, кипит. Вскоре вода перестала кипеть, но и спустя 20 минут в нее нельзя было погрузить руку. Шаровая молния, израсходовав всю энергию на кипячение воды, исчезла без взрыва. Похоже, что она в течение нескольких минут находилась под водой, поскольку ее не было видно.



«Опыт с бочонком» профессора  
Б. Л. Гудлета

В бочонке помещалось около 16 л воды, значит, энергия, необходимая для ее кипячения, должна составлять от 1 до 3,5 кВт·ч. В действительности энергия молнии наверняка была еще больше, так как на пути к бочонку молния прожгла телеграфные провода и опалила оконную раму.

Профессор Б. Л. Гудлет определил также плотность энергии молнии. Зная примерный объем шаровой молнии — около литра и принимая за средний показатель плотности 0,01 г/см<sup>3</sup>, он получил массу 10 г. Это типичная для шаровой молнии масса, в пределах 0,5–50 г.

Плотность энергии молнии оказалась соответственно 100 кВт·ч, или 360 МДж/кг, то есть шаровая молния в сотни и тысячи раз превышает по плотности энергии лучшие электрохимические аккумуляторы!



«Опыт с бочонком» не был единичным. Попадание шаровых молний в баки, канистры и другие емкости всегда сопровождалось вскипанием содержащихся в них жидкостей. Просто «опыт с бочонком», достоверно описанный профессором Б. Л. Гудлетом, наиболее подробно разобран учеными.

Американский исследователь Гарольд У. Льюис высказал мнение, что если бы объем шаровой молнии был заполнен напалмом или же леобразным бензином, то энергия напалмового шара равнялась бы энергии шаровой молнии. Правда, плотность энергии в этом случае будет в несколько раз меньше — около 50 МДж/кг, но в общем-то и это чрезвычайно много!

Из множества попыток объяснить природу шаровой молнии пока ни одна не получила окончательного признания. Мне же наиболее любопытными показались две противоположные гипотезы. Согласно первой, выдвинутой в позапрошлом веке знаменитым французским ученым Домиником Араго, шаровая молния — особое соединение азота с кислородом, энергия взаимодействия которых и расходуется на создание шаровой молнии. Этой же точки зрения придерживался французский астроном и физик Матиас, который полагал, что энергия шаровой молнии — «грозовой материи» — вчетверо больше, чем энергия такого же шара, наполненного нитроглицерином.

К сожалению, подобных соединений химикам создать пока не удалось, хотя, как можно судить по некоторым сообщениям, надежд на это они все-таки не теряют. Уверяют, что горение искусственной «грозовой материи» по своему эффекту будет мало чем отличаться от взрыва шаровой молнии.

Известный советский физик Я. И. Френкель, сторонник первой гипотезы, считал шаровую молнию сфероидным вихрем смеси частиц пыли или дыма с химически активными (из-за электрического разряда) газами. Такой шар-вихрь, подчеркивал ученый, способен на длительное независимое существование. Действительно, согласно наблюдениям, шаровая молния появляется в основном при электрическом разряде в запыленном воздухе и оставляет после себя дымку с острым запахом.

Недавно открытое учеными явление хемилюминесценции вновь вызвало интерес к первой гипотезе возникновения шаровой молнии. Часть исследователей утверждает, что шаровая молния не что иное, как хемилюминесцентное образование (ХЛО), которое тоже наблюдается в запыленном воздухе.

Так или иначе, но эта гипотеза, в соответствии с которой вся энергия шаровой молнии находится внутри ее самой, нравилась мне



больше остальных. Может быть, потому, что она позволяла считать шаровую молнию накопителем энергии.

Совершенно противоположную точку зрения на происхождение шаровой молнии высказал академик П. Л. Капица. Прежде всего он считает неприемлемой первую гипотезу, так как она якобы противоречит закону сохранения энергии. «Если в природе, — пишет П. Л. Капица, — не существует источников энергии, еще нам неизвестных, то на основании закона сохранения энергии приходится принять, что во время свечения шаровой молнии непрерывно подводится энергия, и мы вынуждены искать этот источник энергии вне объема шаровой молнии».

При этом П. Л. Капица ссылается на так называемое «высвечивание», то есть прекращение сияния шаровой молнии. Время высвечивания сияющего шара прямо пропорционально его диаметру. Экспериментальные ядерные взрывы показали, что огненное облако диаметром 150 м высвечивается примерно за 10 с. Стало быть, шаровая молния диаметром 10 см (наиболее вероятный ее размер) высветится всего за 0,01 секунды!

Исходя из этого П. Л. Капица полагает, что шаровую молнию, существующую в тысячи раз дольше расчетного времени, питают приходящие извне радиоволны, преимущественно длиной от 35 до 70 см. Взрыв шаровой молнии объясняется внезапным прекращением подвода энергии (например, если резко меняется частота электромагнитных колебаний) и представляет собой простое «схлопывание» разреженного воздуха.

Хотя гипотеза П. Л. Капицы нашла горячих приверженцев, многое в ней не соответствует наблюдениям. Во-первых, радиоволны в диапазоне 35—70 см, появляющиеся в результате атмосферных разрядов, современными радиоустановками не зафиксированы. Во-вторых, эта теория не соответствует «опыту с бочонком», описанному профессором Б. Л. Гудлетом. Дело в том, что вода является практически непреодолимой преградой для радиоволн. Если бы даже их энергия передалась воде мгновенно, это не вызвало сколько-нибудь заметного ее нагрева.

Неувязка получается и со взрывом шаровой молнии. Хорошо известно, что этот взрыв способен вызвать большие разрушения. Шаровая молния легко переламывает при соприкосновении толстые бревна, волочит по земле тяжелые предметы, переворачивает трактора, совершает другие «силовые» трюки. Взрыв молнии, нередко оглушительный, способен разнести на куски прочнейшие предметы. Был даже случай, когда шаровая молния «нырнула» в реку и взорвалась там, подняв огромный фонтан воды. «Схлопывание» же шаровой



молнии по своему эффекту напоминало бы скорее звук лопающегося резинового воздушного шарика.

Что касается высвечивания, которое приводят в качестве основного аргумента критики гипотезы внутренней энергии шаровой молнии, то длительность его вовсе не противоречит закону сохранения энергии при допущении, что энергия переходит в свечение не сразу, а постепенно. Если внутренняя энергия шаровой молнии как аккумулятора выделяется медленно, то свечение может продолжаться достаточно долго. Так, например, легкий газ ацетилен, взятый в объеме 1 литра, сгорает в воздухе в течение нескольких десятков секунд, образуя при этом яркое свечение, интенсивность которого соизмерима с силой света шаровой молнии. А ведь вещество шаровой молнии может таить энергию и в сотни раз больше. Поэтому мне показалась более правдоподобной первая гипотеза.

Я уже почти не сомневался, что шаровая молния несет свою энергию внутри себя, то есть она и есть настоящая «энергетическая капсула», только созданная не человеком, а искусницей-природой.

Однако загадка шаровой молнии до сих пор остается неразгаданной, ибо пока не удалось получить шаровую молнию искусственно. Возможно, добившись этого, человек будет иметь едва ли не самый емкий аккумулятор энергии! Но в нынешнем виде «грозовая материя» показалась мне слишком опасной, чтобы строить «капсулу» на ее основе.



# ДЕРЖУ МЕЧТУ!



## Мечте — 5500 лет!

*Автор, запутавшись в сложном поиске «энергетической капсулы», решил искать ее самым простым путем и, кажется, не ошибся...*

### Метеорит на привязи

Итак, я перебрал почти все идеи, казавшиеся мне сколько-нибудь перспективными, но «капсулы» так и не нашел. Каждый раз все складывалось вроде бы отлично, появлялись радужные надежды, а затем возникали непредвиденные осложнения, они громоздились друг на друга, и мои надежды в конце концов рушились.

Неужели всякая победа в технике достается только многолетним кропотливым трудом? Известно, что так работал, например, великий Эдисон, тратя на отдых и другие «бесполезные», с его точки зрения, занятия минимум времени. Но ему же принадлежат слова: «Огромное большинство людей предпочитает безмерно трудиться, лишь бы немного не подумать».

Конечно, хорошо бы найти в природе какой-нибудь аналог накопителя и, взяв его за основу, попытаться создать «энергетическую капсулу». Однако попробуй найди такой аналог.

Раскаленное Солнце? Было, это же тепловой аккумулятор. Сила гравитации? Тоже было — аккумулятор Армстронга, или, попросту, поднятый груз. Упругие ветви деревьев? Пружина. Электрический скат? Электроаккумуляторы. Грозовые облака? Конденсаторы. Шаровая молния? От нее я отказался только что.

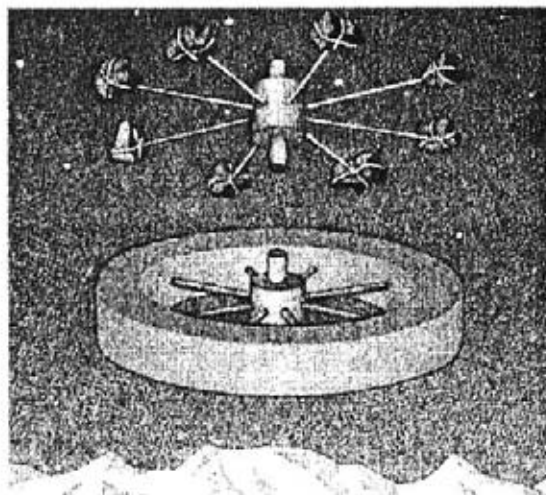
Может, метеориты? Они все-таки имеют гигантскую скорость, способны насквозь пробить космический корабль. Пусть даже их скорость будет весьма небольшой по космическим масштабам, километров десять в секунду, но и тогда кинетическая энергия каждого килограмма массы метеорита составит половину квадрата скорости, или... 50 МДж. Это ведь столько, сколько накапливает шаровая молния! А есть метеориты гораздо быстрее.

Разгонишь метеорит до скорости вдвое большей — накопишь вчетверо большую энергию.



Я не поверил себе. Решение лежало на поверхности. Возможно ли, что никто раньше не додумался накапливать энергию в бешено мчащемся метеорите?

Ну хорошо, а как эту энергию отобрать у метеорита? Гнаться за ним на космическом корабле? Неудобно, сам при этом превратишься в аккумулятор такой же по величине энергии. Стало быть, надо привязать метеорит тросом к некой оси, и пусть он ходит вокруг нее по кругу. Вращая эту ось, а вернее, вал, можно разгонять метеорит — накапливать в нем энергию и, напротив, замедлять его бег при отборе энергии. Пожалуй, лучше даже взять несколько таких метеоритов на привязи и состыковать их между собой, чтобы получилось кольцо. И пространство удастся сэкономить, и...



Метеориты «на привязи» очень напоминают маховик со спицами

К моему удивлению, вышло нечто очень знакомое. Так это же маховик — обычный маховик в виде тяжелого колеса со спицами! Маховики давным-давно применяют для выравнивания хода машин, они присутствуют в любом автомобильном двигателе, в магнитофонах, в швейных машинах, механических ножницах, прессах... В общем трудно, наверное, назвать машину, в которой нет маховика или какого-нибудь тяжелого колеса, выполняющего ту же роль.

Почему же тогда маховики не используют для накопления больших количеств энергии? Ведь если даже плотность энергии маховика окажется в сотни раз меньше, чем я подсчитал для метеорита, все равно он будет на уровне лучших аккумуляторов, созданных когда-либо человеком!

Любое серьезное дело, как я уже понял, требует основательной подготовки. Мне теперь предстояло подробнее ознакомиться с маховиками, и начать я решил прямо с той поры, когда они появились.

## Открытие древнего гончара

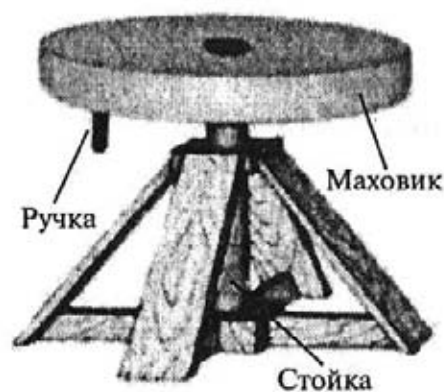
Один из величественнейших городов Междуречья — древний Ур. Он громаден и многолик. Это почти целое государство. Сады, дворцы, мастерские, сложные гидротехнические сооружения, культовые постройки.



В небольшой гончарной мастерской, с виду довольно старой, служившей, вероятно, не одному поколению, перед гончарным станком сидит смуглый мужчина с остроконечной бородкой. Грубая крепкая деревянная тренога поддерживает массивный диск из обожженной глины диаметром около метра. На глаз в нем никак не меньше центра. Гончар кладет на этот диск кусок размятой глины и принимает-ся колдовать над ней. Диск, несмотря на явную громоздкость, легко вращается — по-видимому, он достаточно искусно посажен на ось, подвижно закрепленную в треноге. Но вот его вращение замедлилось. Мастер завел правую руку под диск, нащупал там рукоятку, с силой потянул ее на себя, откидываясь в мощном движении...

Эта сценка из далекого прошлого ожила передо мной благодаря знаменитому английскому археологу Леонарду Вулли, который в 1929 году в развалинах города Ура нашел не совсем обычный гончарный круг. Гончарное ремесло в те времена получило уже довольно широкое распространение, и найденный диск едва ли мог особенно заинтересовать археологов. Но Леонард Вулли оказался весьма проницательным, обратив внимание на некоторые странности в устройстве диска.

Во-первых, зачем понадобилось делать гончарный круг столь большим и тяжелым? В Египте, например, находили гончарные круги лет на тысячу старше. Изготовленные из дерева, они были гораздо меньше по размерам, легче и прекрасно служили в качестве простой вращающейся подставки. Такими же кругами пользовались и в Междуречье. И все-таки гончар из Ура сделал свой круг тяжелым и громоздким, как будто назло самому себе.



Гончарный круг из города Ура — первый маховик

Во-вторых, для чего было проделано маленькое отверстие в торце диска? Если большое отверстие в центре предназначалось для закрепления в нем оси, то маленькое отверстие сбоку поначалу казалось археологам совсем ненужным.

И тут Леонард Вулли высказал блестящую мысль: в маленькое отверстие втыкалась деревянная рукоятка, с помощью которой древний мастер вращал массивный диск. А большой вес и внушительные размеры диска ему нужны были для того, чтобы подольше сохранять это вращение и работать на своего рода «механизированном» станке.

Гончар из города Ура сделал гениальное открытие — он изобрел маховик! Как и миллионы нынешних маховиков, их предок — гончарный круг, вращаясь, переносил энергию во времени. Именно он, по признанию ученых, положил начало эре механизированного труда.



## В поисках серьезной работы

Прошло еще 1200 лет, прежде чем в Древнем Китае был изготовлен другой гончарный круг маховичного типа. Известно даже имя хозяина гончарной мастерской близ Желтой реки. Звали его Ланг Шан, и он, по-видимому, сам дошел до идеи маховика. К чести китайца, его маховик был значительно совершеннее. Вытесанный из камня, что придавало ему большую прочность и долговечность, массивный диск приводился в действие ногами. Это позволяло развивать немалую скорость — ноги ведь гораздо сильнее рук.

Очередное маховичное устройство появилось примерно через полторы тысячи лет, и снова в Китае. В долине реки Ло Ланг Хо постоянно дули сильные ветры, которые сдували слои земли, образуя глубокие овраги. В этих оврагах на глубине 10–12 м можно было найти воду, необходимую для орошения полей. Китайцы сооружали большие колеса с парусами на шестах, к колесам цепями крепили кожаные ковши для воды. Ветер надувал паруса и вращал колеса, поднимая воду из оврагов.

Однако когда ветер вдруг стихал, такое колесо останавливалось, а затем под тяжестью ковшей с водой начинало крутиться в обратную сторону, сливая воду в овраг. Чтобы этого не происходило, у колеса оставляли дежурить двух рабов, скованных одной цепью. Как только ветер прекращался, они повисали на той стороне колеса, где были пустые ковши, и удерживали его от обратного хода до следующего порыва ветра.

Однажды хозяин колеса, которому рабы понадобились для другого дела, решил уравновесить колеса тяжелым камнем. Ничего не получилось, все равно кто-то должен был в нужный момент привязывать камень к колесу, а потом отвязывать его. Хозяин уже было махнул рукой на свою затею, но тут налетевший ветер раскрутил колесо вместе с камнем, который не успели снять, и оно стало быстро вращаться, поднимая ковши с водой, а когда ветер опять стих, колесо не сразу остановилось.

Сообразительный хозяин тут же приказал привязать еще камней под каждый парус и стянуть шесты веревками. Так его колесо превратилось в огромный маховик, накапливающий энергию ветра и постепенно расходующий ее во время затишья. Благодаря маховику появилась возможность поднимать воду без постоянного контроля со стороны человека.

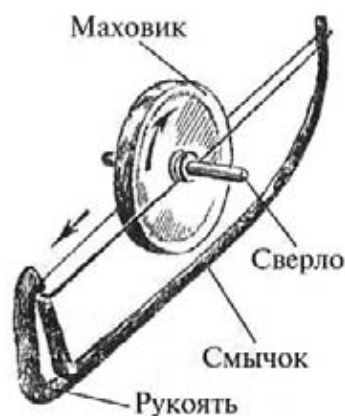
Сейчас такое сооружение называли бы автоматическим водоподъемником маховичного типа, а тогда его именовали «Большое





«Большое колесо Мандарина»

и канатами. Вал колеса покоился на подшипниках-втулках из твердых пород дерева, обильно поливаемых водой. Чем не современная жидкостная смазка подшипников?! Да, «Большое колесо Мандарина» было настоящим шедевром древних инженеров, на много лет опередившим техническую мысль той эпохи.



Старинная смычковая дрель с маховиком

Маховики, правда, несравненно меньших размеров, применялись в старинных смычковых сверлилках-дрелях. В них функцию маховика выполнял тяжелый диск, насаженный на сверло. Через него, обвиваясь, проходила тетива смычка. Двигая смычком вперед-назад, мастер разгонял маховик, а затем, надавливая на тупой конец сверла камешком с углублением, просверливал отверстия, используя накопленную в маховике энергию. Подобным способом можно было не только сверлить, но и добывать огонь трением.

Уже в древности появились первые маховичные игрушки. И раньше других — волчок, который радует детей до сих пор, спустя тысячелетия. Волчок заключает в себе два главных свойства маховика — он накапливает и сохраняет энергию, а также сохраняет ось вращения в пространстве — обладает гироскопическим эффектом. Указанные свойства и обусловили применение маховиков в миллионах современных машин.

Детство мое и моих сверстников протекало в военные и первые послевоенные годы. Тогда стране было не до игрушек, и мы сами делали

колесо Мандарина». Сохранилось и другое название маховичного колеса, данное ему в память о древней китайской цивилизации, на закате которой оно было создано, — колесо Пан-По.

Колесо Пан-По имело, по описаниям того времени, «четыре человеческих роста над землей и два — под землей». Крепкие «спицы», на концах которых были закреплены паруса и тяжелые камни, соединялись между собой распорками



их из дерева, глины, отливали из свинца. Иногда волчки получались очень удачные — закрутишь такой, бросишь на пол и подстегиваешь кожаной плетью.

Волчок гудит, подпрыгивает от ударов и крутится, крутится чуть ли не часами.

Не менее интересную игрушку мастерили мы из крупного грецкого ореха. Орех просверливали или прожигали гвоздем в двух местах близ центра так, чтобы расстояние между отверстиями не превышало сантиметра. Потом пропускали в эти отверстия нити, связывали концы — и игрушка готова. Мы называли ее «жужжалкой». Многие из нас в то время считали, что «жужжалку» выдумали недавно, а она, оказывается, описана еще в древних кавказских рукописях.



Маховичная игрушка «жужжалка» из грецкого ореха

Для запуска игрушки нужно было надеть концы нитяной петли на пальцы, растянуть ее, а затем, закрутив орех на несколько оборотов, отпустить его. Орех начинал раскручиваться и вскоре по инерции уже сам закручивал нить в другую сторону. Здесь следовало чуть ослабить натяжение нити, чтобы дать ей возможность закрутиться на большее число оборотов, и снова растянуть. С каждым разом орех все стремительнее вращался вперед-назад, причем с сердитым жужжанием. Скорость его вращения достигала нескольких тысяч оборотов в минуту.

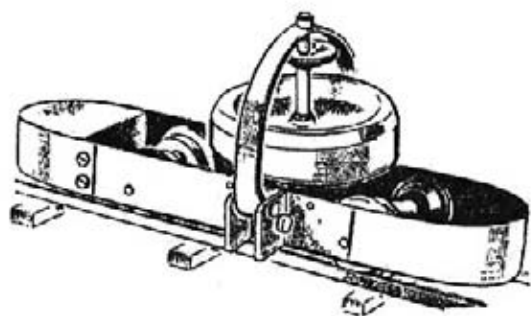
Еще одна старинная маховичная игрушка — «йо-йо». На глиняный, деревянный или металлический маховик с кольцевой проточкой посередине наматывалась нить длиной около метра. Держа свободный конец нити в руке, маховичок приподнимали над землей и отпускали. Падая, он раскручивался, приобретая все более быстрое вращение. При этом в нем накапливалась энергия, достаточная для его последующего подъема вверх по нити почти до самой руки. Если при падении маховичка нить слегка натягивали, а при подъеме чуть ослабляли, то маховичок наезжал прямо на руку.



Маховичная игрушка «йо-йо»

По принципу этой игрушки действует хорошо знакомый всем по урокам физики прибор — маятник Максвелла, демонстрирующий переход потенциальной энергии в кинетическую, и наоборот.





Маховичный локомотив — игрушка

Маховичные игрушки дали много для развития идеи накопления энергии во вращающихся маховиках. Во все времена не только дети, но и ученые любили наблюдать за ними, изучали их свойства. Например, великий Ньютон, поясняя открытый им закон инерции, описывал вращение волчка. Однако минуло немало лет, пока для маховика нашлась серьезная работа.

## Маховик берется за дело

Средневековая Европа. Процветает схоластика, алхимия, не сидят без работы и астрологи. Станный и страшный период в истории Европы, когда на несколько веков она погрузилась во мрак отсталости и невежества.

О маховиках тогда, конечно, никто и не думал. Да и о каких маховиках могла идти речь, когда «ученые мужи» были заняты поисками «философского камня», изгнанием дьявола, размышлениями на тему: «Сколько ангелов уместится на булавочной головке?»

Но почти через тысячу лет после гибели высокоразвитого в техническом отношении античного Рима в Европе постепенно опять начинают заниматься делом. Медленно, но верно развиваются технические науки, появляются машины. Машины поначалу были несложные, приводимые в движение вручную с помощью рукояток.

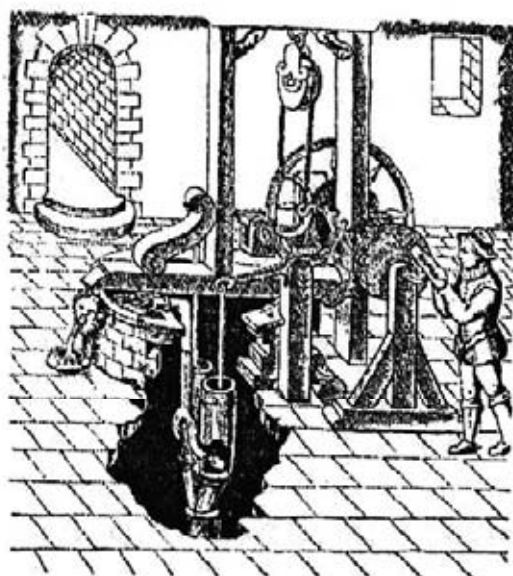
Тот, кто пробовал завести двигатель автомобиля рукояткой, хорошо знает, как это трудно. А каково же было людям средневековья? Для того чтобы машина работала, им приходилось крутить рукоятки с утра до вечера, изо дня в день, из месяца в месяц, из года в год. Будучи, по существу, «живыми двигателями» средневековых машин, они быстро выбивались из сил, производительность их труда заметно падала. И вот однажды кто-то догадался снабдить рукоятку маховиком. Это позволило значительно облегчить труд работников. Отныне маховик стали применять в самых различных технических устройствах.

Характерным примером использования маховика в старинных машинах может служить ковшовый водоподъемник XV века, колесо которого должен был поворачивать вручную специально нанятый для этого работник. В те моменты, когда человеку было удобно вращать рукоятку, укрепленный на ней достаточно большой маховик «принимал» у него часть энергии и возвращал ее тогда, когда крутить рукоятку

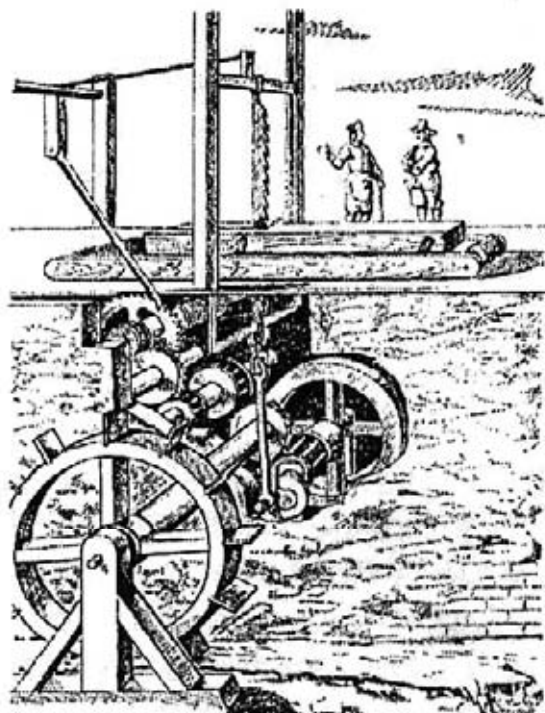


становилось уже неудобно. В результате и человек меньше утомлялся, и машина работала более равномерно.

Другой пример — поршневой насос конца XV — начала XVI века. Помимо неудобства пользования рукояткой, здесь требовалось преодолеть еще одну сложность. Когда поршень поднимал воду, крутить рукоятку было намного тяжелее, чем во время его спуска. И нередко случалось так, что при подъеме у работника просто не хватало сил повернуть рукоятку, оказавшуюся в неудобном для него положении. Применение маховика позволило решить эти проблемы.



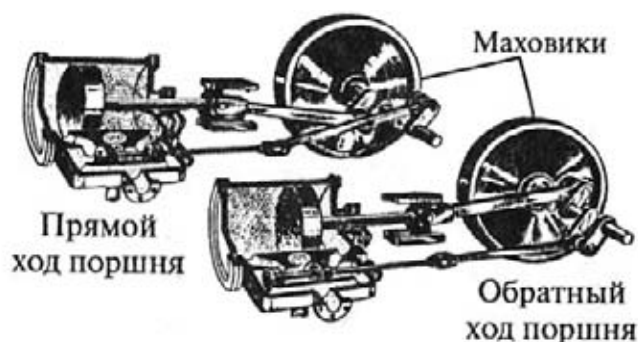
Старинный поршневой насос  
с маховиком



Старинная лесопильная машина  
с маховиком

Даже тогда, когда машины стали приводить в движение с помощью водяного колеса, маховик не утратил своего значения. В XVI веке, например, его использовали в машинах для распиловки досок. Поднимать пилу вверх было легко: в это время она не пилила — наклон зубьев был в другую сторону, опускать же — совсем непросто, ведь при этом и происходила собственно распиловка доски. Без маховика пила бы часто застревала в доске, и водяное колесо не в силах было бы протянуть ее дальше. Теперь же маховик, разгоняясь при свободном ходе пилы вверх, отдавал ей свою энергию при рабочем ходе вниз. Пила не застревала, и дело шло быстро. Маховик здесь был уже гораздо больше по размерам и массе, чем на ручных машинах, — мощность тут требовалась большая.





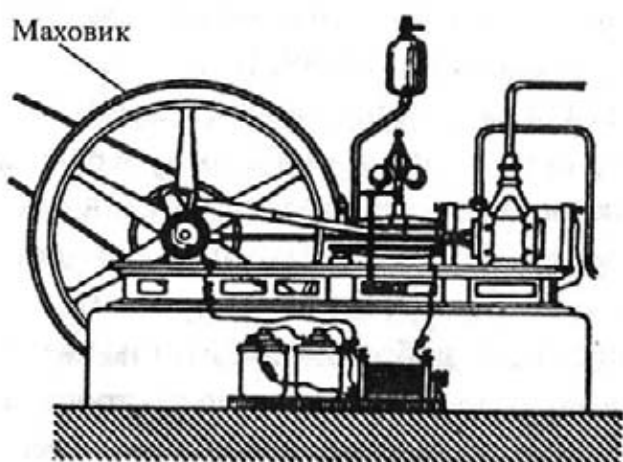
Паровая машина с маховиком

В XVIII веке изобрели паровой двигатель, а в XIX — двигатель внутреннего сгорания. Оба поршневые. Главный же недостаток поршневой машины — неравномерность выделения энергии, неравномерность хода. Машина выделяет энергию лишь в момент подачи

пара в цилиндр или в момент сжигания в нем горючего. Все остальное время она только расходует энергию на свое прокручивание. Это необходимо, чтобы машина не остановилась.

Тут-то и пригодился маховик. Посаженный на вал двигателя, маховик при сжигании горючего, то есть при рабочем ходе машины, накапливает энергию, а потом за счет нее сам прокручивает машину для подготовки следующего рабочего хода. Если кто-нибудь думает, что автомобиль постоянно приводится в движение двигателем, то он ошибается. Часть времени машину тянет двигатель, а часть — именно маховик. И изрядные расстояния автомобиль проезжает за счет маховика. Правда, такой маховик накапливает очень незначительную энергию по сравнению с другими аккумуляторами той же массы, поэтому претендовать на роль «энергетической капсулы» он не может.

Часто маховик присутствует в машинах незримо, он «замаскирован» в них под какую-то деталь, но выполняет самую что ни на есть «маховичную» работу. Те, кто бывали на заводе, наверное, видели там механические ножницы. Мотор с помощью ремня крутит шкив, а от этого шкива приводится в движение нож. На первый



Один из первых двигателей внутреннего сгорания с маховиком

взгляд, шкив как шкив. А будь он полегче, не такой массивный, каким его изготовили, не сработали бы тогда ножницы, оперевшись в заготовку, — и нож сразу бы остановился. Только маховик, «замаскированный» в этом случае под шкив, позволяет за счет накопленной энергии развивать огромные силы и мощности, необходимые для работы.



«Маскируется» маховик обычно под шкивы, муфты, зубчатки, колеса и другие круглые, а подчас и не совсем круглые детали. В самом деле, почему бы и не использовать свободный обод маховика для размещения на нем ремня или зубьев? Это очень даже удобно.

Кстати, уж коли мы заговорили про колеса, то велосипедные колеса — настоящие маховики, на которые надеты шины. Но здесь используется главным образом другое свойство маховика — гироскопический эффект. Это он помогает сохранять устойчивость велосипеду, как и волчку — игрушке, наблюдая за вращением которой этот эффект был впервые подмечен.

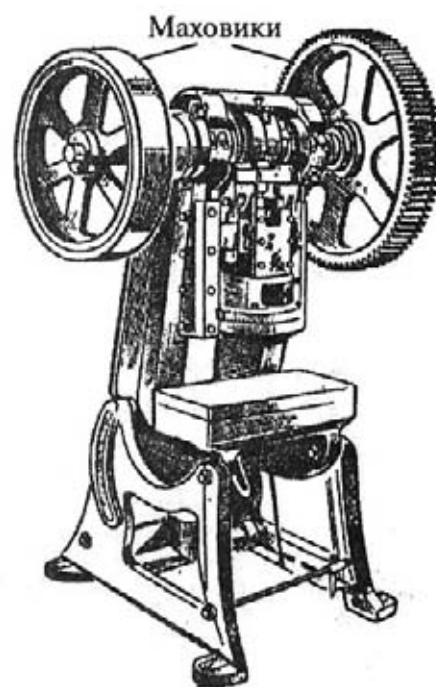
Более 200 лет тому назад английский изобретатель Серсон попытался использовать это свойство волчка для создания «искусственного горизонта» — особого прибора, крайне необходимого в мореплавании: ведь нередко из-за тумана естественного горизонта не видно. Этот прибор нужен был морякам для астрономических наблюдений, чтобы выяснить, где находится в данный момент корабль. Раньше применяли для этих целей отвес, но при волнении на море отвес сильно раскачивался наподобие маятника и «поймать» горизонт было невозможно.

Судьба оказалась несправедливо жестокой к изобретению и к самому изобретателю. Фрегат «Виктори», на котором был установлен «искусственный горизонт», потерпел крушение — Серсон погиб. О его изобретении лет на сто забыли.

Свойство маховика сохранять ось вращения в пространстве поначалу поражало меня, как, впрочем, и каждого, кто впервые сталкивался с этим свойством. Только позже я понял, чем оно объясняется. Но уже до этого, наблюдая гироскопический эффект, я твердо решил применить его при создании маховичной «энергетической капсулы».

## Маховик перебирается на транспорт

Наступил XIX век — век настоящего расцвета машиностроения. Неизменный спутник машин — маховик завоевывал все более прочное место на транспорте. А впервые он был использован на транспортном средстве в 1791 году гениальным русским механиком-самоучкой И. П. Кулибиным, который применил его в своей знаменитой «самокатке».



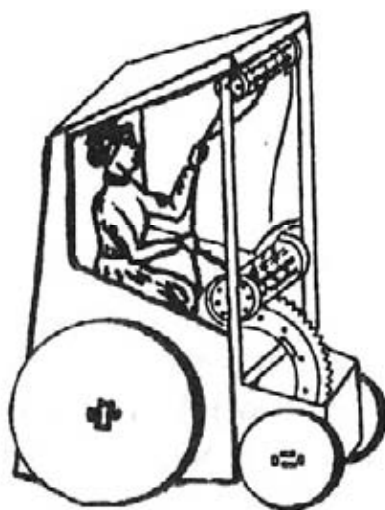
Маховичный пресс



Надо сказать, что «самокатки», «самобеглые коляски» и прочие «безлошадные» транспортные средства появились задолго до И. П. Кулибина. Но Кулибин не знал об этом и создавал все заново. Не подозревая о существовании иных конструкций «самокаток», где маховиков и в помине не было, он положил начало новому применению маховичных накопителей.



Античный мускульный экипаж-улитка



Средневековый мускульный сити-кар

Еще в Древнем Риме дети катались на досках с приделанными к ним четырьмя колесами. Это были первые примитивные бестягловые тележки, работающие на мускульной энергии самого пассажира. Существовали в античном мире и мускульные экипажи побольше, в частности в виде большой улитки.

В 1257 году английский ученый и общественный деятель Роджер Бэкон предсказал скорое появление городских экипажей на мускульной тяге, которые будут иметь практическое значение. Таковые вскоре и появились.

В 1447 году в европейских городах на новогодних празднествах видели закрытую повозку, приводимую в движение «скрытым механизмом» — по-видимому, спрятанными внутри повозки людьми.

Великий художник Альбрехт Дюрер сконструировал целых девять «самобеглых» повозок для императора Максимилиана I. Даже сам Ньютон в ранней молодости построил «самокатку», которая ездила по полу в его доме.

В XVII–XVIII веках были известны не менее десяти разновидностей «безлошадных» самоходных повозок, в том числе «самобеглая коляска» талантливого русского механика Л. Л. Шамшуренкова, построенная в 1752 году.

В XX веке «самобеглые» получили как бы второе рождение. Люди хотят больше двигаться, ведь не секрет, что мы страдаем от недостатка движения. К тому же мускульные транспортные машины не имеют двигателей, сжигающих горючее, они совершенно безвредны. Сейчас создано много новых конструкций не только велосипедов, уже



завоевавших мир, но и мускульных автомобилей — веломобилей или педикаров, которым еще предстоит это сделать. Ряды сегодняшних «изобретателей велосипедов», в хорошем понимании этого словосочетания, множатся с каждым днем.

У всех «самобеглых» есть общий недостаток — они плохо преодолевают подъемы. Велосипедисты знают, как тяжело даже на современных легких педальных машинах ехать в гору. Можно понять, насколько трудно это было для водителей педикетов — велосипедных колясок, в которых помимо самого водителя нередко сидело еще два пассажира. Между тем, по отзывам очевидцев, «самокатка» И. П. Кулибина в гору шла быстрее, чем по ровной дороге!

Дело здесь в применении маховика, который, разогнавшись за счет накопленной энергии, помогал преодолевать подъемы и, кроме того, снижал скорость «самокатки» на спусках. Водитель, он же слуга, вращая педали, раскручивал маховик, расположенный под сиденьем, после чего уже сам маховик посредством механической передачи приводил в движение колеса.

Маховик не единственный накопитель энергии, использованный И. П. Кулибиным в «самокатке». Он применил в качестве тормоза специальные пружины, способные накапливать энергию экипажа при торможении. Пружины помещались в тормозном барабане, служившем одновременно сцеплением и коробкой передач. Можно только удивляться гению Кулибина, почти на полтора столетия опередившего техническую мысль того времени.

В Политехническом музее в Москве демонстрируется прекрасная действующая модель «самокатки» Кулибина в масштабе 1:5. Измерив модель, я определил диаметр маховика и массу обода. В натуральную величину они составляли 1,5 м и 50 кг, соответственно. Считается, что человек, спокойно работая ногами, способен развить мощность около одной десятой лошадиной силы. Учитывая потери энергии маховика при трении о воздух и в подшипниках, я получил максимальную скорость, до которой может быть разогнан такой маховик — 500 оборотов в минуту. Это очень низкая скорость для маховика, но и при этом маховик Кулибина мог накопить около 800 Дж/кг, а всего — около 40 кДж. Полагая, что масса экипажа была примерно 400 кг и соответственно сила сопротивления его движению по дороге около 0,1 кН (килоньютон), я определил путь, который могла пройти «самокатка» только на энергии маховика, — он оказался



Маховик

«Самокатка» И. П. Кулибина



равен 400 м. Для преодоления встретившегося подъема «самокатке» достаточно было энергии самого маховика. А ведь при этом человек тоже не переставал работать педалями. Поэтому наблюдателям и казалось, что «самокатка» в гору шла быстрее, чем по равнине.

«Самокатка» И. П. Кулибина — прекрасный пример удачного использования маховика на транспорте, даже соотношение масс маховика и экипажа словно взято из современных справочников!

Следующим применил маховик на транспорте другой наш соотечественник, инженер-поручик З. Шуберский.

В июле 1862 года в газете «Современная летопись» появилась такая заметка: «Два года назад в “Журнале путей сообщения” было заявлено об остроумном изобретении г-на Шуберского. Маховоз господина



Маховоз З. Шуберского

Шуберского, состоящий из системы маховых колес, предполагается к употреблению при всходе и спуске поездов по крутым скам железных дорог. Умеряя быстроту движения при спуске с горы и употребляя сбереженную скорость при

подъеме в гору, снаряд г-на Шуберского дает возможность проводить железные дороги со значительными склонами, уменьшая количество земляных работ и искусственных сооружений. Опыты над моделью маховоза оказались удовлетворительными, и изобретатель намеревается приступить к опытам в большом виде».

Я разыскал этот журнал и обнаружил подробное описание, расчеты и чертежи первого рельсового маховичного экипажа.

Три пары огромных железных маховиков просто посажены своими осями на ободы ведущих колес маховоза. Таким образом, вращение передается от ведущих колес на оси маховиков при спуске и, напротив, от осей маховиков ведущим колесам на подъеме только силой трения под давлением тяжести самих маховиков. Это самый простой и в данном случае наиболее подходящий способ передачи механического движения при высокой мощности и минимальных потерях энергии в опорах и на приводе. Кроме того, оси маховиков помещены в подшипниках и могут быть приподняты в случае торможения маховоза, чтобы не гасить при этом энергию маховиков. Последние в это время будут вращаться вхолостую.

Маховоз предполагалось цеплять позади паровоза, перед вагонами. Предусматривалось также снабдить маховиками паровоз и тендер.



Размеры и масса маховиков весьма внушительны: каждый маховик диаметром 12 футов (3,6 м) и массой около 300 пудов (5 т). Сам маховоз имеет массу 2330 пудов (40 т). Окружная скорость обода маховика связана со скоростью поезда и превышает ее в 12 раз. Кинетическая энергия, накапливаемая маховиками, — около 2,3 млн пудо-футов (114 МДж).

Набирая кинетическую энергию на спусках или на ровном пути при помощи паровоза, маховоз должен был помогать поезду преодолевать крутые подъемы. Допустим, сам паровоз может преодолеть уклон только в 5 тысячных (подъем на 5 метров за 1 километр пути), а с маховозом он взойдет по подъему, в три раза более крутому, из которых  $\frac{2}{3}$  подъема будут преодолены за счет энергии маховоза и лишь  $\frac{1}{3}$  — самого паровоза.

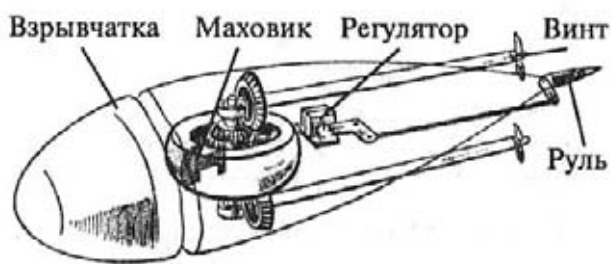
Шуберский предлагал использовать свое изобретение и для поездов «малыми поездами» на небольшие расстояния. Например, если прицепить к маховозу один пассажирский вагон массой 625 пудов (10 т), то этот поезд при разгоне его паровозом до скорости 28 верст в час (30 км/ч) на участке в 2 версты (2,1 км) пройдет за счет энергии маховиков внушительное расстояние — 55 верст (60 км) до остановки.

Если не доводить поезд до полной остановки и использовать, скажем, 75 % всей кинетической энергии, пробег сократится до 40 верст (43 км). Если же удвоить скорость поезда, то есть довести ее до 55 верст в час (60 км/ч), вполне нормальной и даже низкой скорости для поездов, то пробег увеличится в 4 раза и составит уже 170 км. Это весьма неплохо для поезда, движущегося за счет аккумулированной энергии!

Тщательный расчет, проведенный Шуберским, показал, что расход топлива с применением маховоза может быть снижен не менее чем на 25 % — цифра, удивительно близкая к современным данным для маховичных рельсовых машин, например для поезда с маховиками в нью-йоркском метро.

Свое описание маховоза Шуберский заканчивает словами, полными патриотизма: «Вполне я был бы счастлив, если бы мое изобретение обратило бы на себя внимание и могло послужить в пользу скорейшего развития отечественных железных дорог».

Потом маховиком заинтересовался американец Дж. Хауэлл. Правда, машину, на которую он его поставил, лишь условно можно назвать транспортным средством, так как это была боевая торпеда. Маховик торпеды Хауэлла, разработанный в 1883 году, раскручивался паровой машиной за одну минуту, после чего торпеда проходила



Торпеда адмирала Хауэлла



около 1,5 км с достаточно высокой скоростью — 55 км/ч. Маховик имел диаметр 45 см, массу 160 кг, скорость его вращения достигала 21 тыс. оборотов в минуту. Накопленная в маховике энергия составляла 10 МДж. Вращение от маховика с помощью конических шестерен передавалось на гребной винт с регулируемым углом наклона лопастей.

Если отвлечься от военного назначения торпеды, думаю, что в «мирном» варианте это была бы неплохая прогулочная быстроходная лодка без мотора, горючего, дыма и треска. Ее с успехом можно было бы использовать в черте города, на переправах, в местах отдыха людей. А раскручивать маховик не обязательно паровой машиной — с этим еще лучше справился бы электромотор.



Экипаж Фредерика Ланчестера



Инерционный аккумулятор  
А. Г. Уфимцева с механическим  
приводом

В 1905 году англичанину Фредерику Ланчестеру был выдан патент на изобретение, имеющее отношение к «...применению для механического движения мотора в форме тяжелого, быстро вращающегося маховика, с целью приведения в движение моторного экипажа». Колеса экипажа Ланчестера соединялись приводом с маховиком или даже с системой из двух маховиков, вращающихся в противоположные стороны. Раскручивали маховики на остановках, где для этого были смонтированы стационарные двигатели. Ланчестер предусмотрел и разгон маховиков с помощью встроенного электродвигателя, который подключался к электрической сети также на остановках.

В 1918 году русский изобретатель-самоучка А. Г. Уфимцев получил патент на маховичный накопитель —

инерционный аккумулятор. А в 20-х годах он предложил использовать маховик для трамвая в своем родном городе Курске. Из-за разрухи в народном хозяйстве в те годы проект этот не был осуществлен.

Эпоха современного применения маховиков на транспорте начинается с разработки маховичных тележек для внутривозвратных



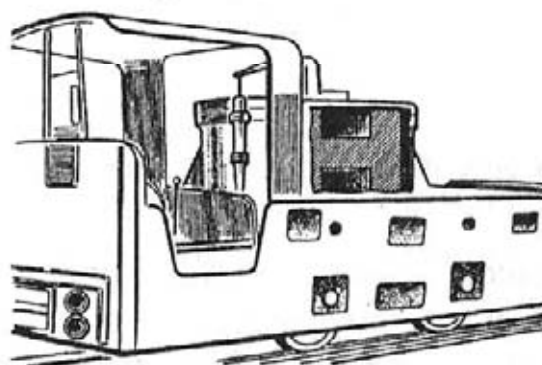
перевозок. В цехах ездить на грузовиках нельзя, мешают выхлопные газы, а электрокары невелики, грузоподъемность их мала. Вот умельцы на заводах и стали делать грузовые тележки с приводом от маховика. В Казани на компрессорном заводе долгое время работала такая маховичная тележка грузоподъемностью до 10 т.



Маховичная грузовая тележка

Еще важнее для промышленности оказались маховичные локомотивы, работающие в шахтах и рудниках. Атмосфера некоторых подземных выработок настолько насыщена взрывоопасными газами, что там становится невозможным использование обычных электровозов. Только один вид транспорта — маховичный — дает полную гарантию от возникновения искры или пламени, способных вызвать взрыв.

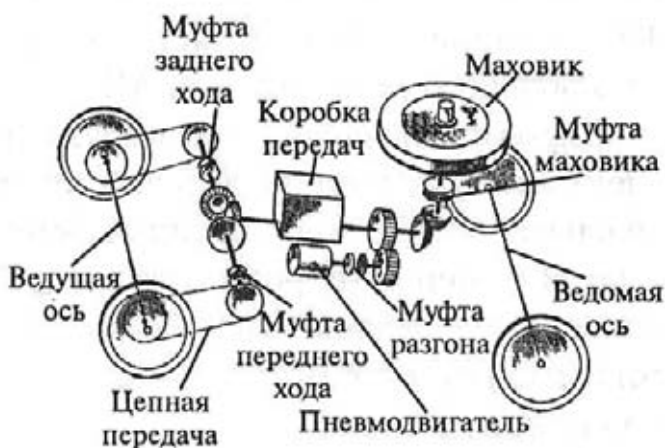
И вот в СССР начался выпуск маховичных локомотивов, которые могли проходить с одной раскрутки маховика массой 1,5 т несколько километров, таща за собой состав вагонеток. Раскручивается маховик от сжатого воздуха, а с колесами локомотива его соединяет механическая передача, не образующая искры.



a

«Транспортом пороховых складов» прозвали маховичные перевозные средства за их пожаро- и взрывобезопасность.

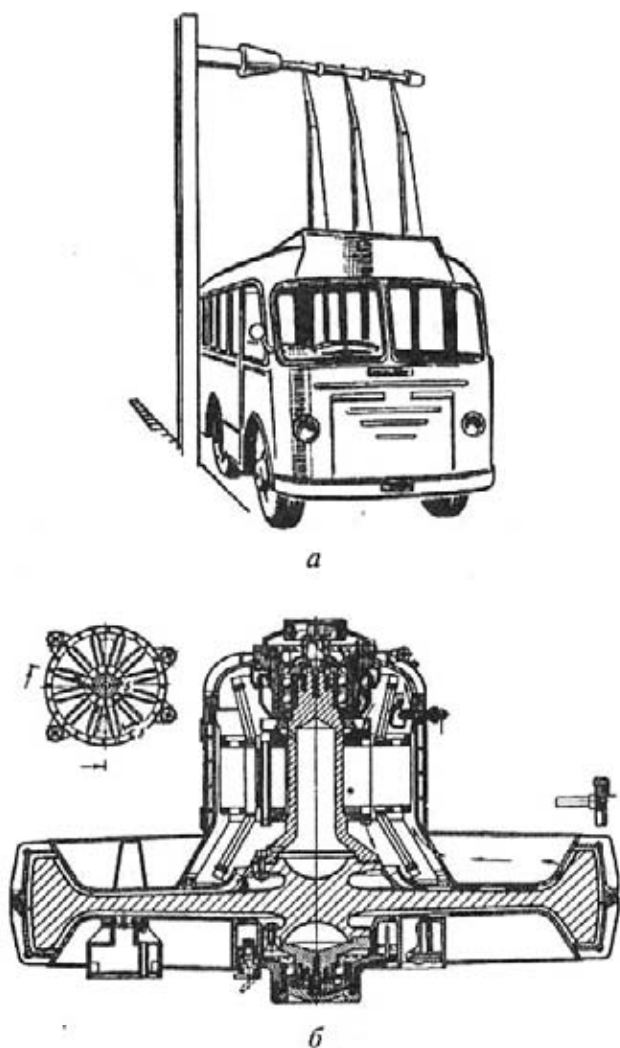
И наконец, применение маховиков на автомобилях началось с изготовления швейцарской фирмой «Эрликон» маховоза-гиробуса, опытный образец которого был построен в 1945 году. Уже в 1953 году фирма выпустила серию гиробусов, проработав-



б

Шахтный маховичный локомотив-гировоз (a) и его схема (б)





Швейцарский маховичный автобус-гиробус (а) и его маховик (б)

ших 20 лет в Швейцарии, Бельгии и некоторых странах Африки.

Масса гиробуса была 11 т, а с пассажирами — 16 т. Его тяговые электродвигатели питались от генератора, приводимого во вращение маховиком. Маховик, выкованный из прочной стали, имел диаметр 1,5 м и массу 1,5 т. Скорость его вращения составляла в начале движения 3000 оборотов в минуту, а по прошествии 4–6 км пути снижалась вдвое. Из накапливаемых маховиком 33 МДж энергии использовалось 75 %.

Подзаряжался маховик на остановках через 1,2–2 км в течение 40 с. Для этого штанги гиробуса поднимались до соприкосновения с контактами на высокой мачте. Генератор начинал работать в режиме двигателя и разгонял маховик. Хотя КПД маховичного автобуса был

невысок — всего 50 %, гиробус показал себя очень экономичным транспортным средством. Расход энергии составлял 1,5 кВт·ч, или 5,5 МДж на километр пробега. Для сравнения напомним, что автобус того же класса, что и гиробус, расходует на километр пути не менее 400 г бензина, что составляет в переводе на механическую работу в три раза большую величину — 17 МДж.

Гиробус совершенно не загрязнял окружающую среду. А ведь даже электроаккумулятор выделяет в атмосферу водород и пары, которые содержат в себе такие вредные вещества, как свинец, кадмий, хлор и др. В отличие от троллейбуса, гиробусу не требовались контактные провода, уродующие вид города и создающие опасность поражения током. Он ехал совершенно бесшумно, его штанги не терлись и не искрили при движении.

И все же, несмотря на эти преимущества, гиробус проиграл соревнование с дорогим, дымящим и шумным автобусом. Это произошло, в основном, потому, что гиробус приходилось часто подзаряжать.



Он мог пройти на энергии маховика в идеальном случае 8 км, а в действительности — около 6 км, после чего останавливался. Для городского транспорта это слишком мало.

Я прикинул, что маховику гиробуса, чтобы стать «энергетической капсулой», нужно «похудеть» раз в десять и во столько же раз увеличить количество накапливаемой энергии.

Иначе говоря, требуется повысить плотность энергии маховика, ни много ни мало, в 100 раз! Это будет, конечно, меньше, чем у «метеорита на привязи», но гораздо больше, чем у самых совершенных аккумуляторов.

Итак, задача ясна. Если мне удастся «закачать» в маховик столько энергии, то проблему создания «энергетической капсулы» можно считать решенной.

## Вот она, моя «капсула»!

*«Капсула» обретает не только плоть, но и душу...*

### Быстрее крутить нельзя

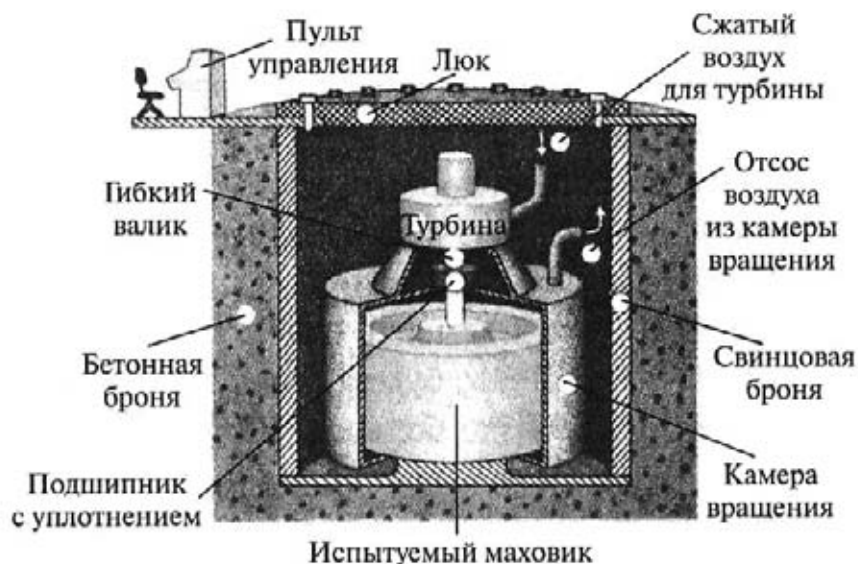
Все, что я прочел про маховики, все, что продумал за это время, помогло мне поверить в большие возможности этих накопителей энергии. Однако повысить плотность энергии маховика в 100 раз — дело нешуточное. Что же мешает решить эту задачу? Попробуем разобраться.

Швейцарский гиробус проходил до остановки 6 км. Четыре из них он шел с приличной скоростью, вполне вписываясь в городское движение. Но почему не больше? Почему, например, не 20 км, что позволило бы открыть в городах линии маховичных автобусов без двигателя и без горючего?

Чтобы пройти впятеро больший путь, гиробус должен запасти во столько же раз больше энергии. Для этого совершенно не обязательно крутить маховик в пять раз быстрее, достаточно увеличить частоту вращения в 2,24 раза, то есть нужно разогнать маховик гиробуса до 6—7 тыс. оборотов в минуту. Казалось бы, чего проще? А вот ученые утверждают, что это совсем не так просто.

Обычно опыты с маховиками проводят на специальном стенде, помещенном глубоко под землей. Маховик там подвешивают в особой камере, из которой выкачивают воздух. Крутят маховик воздушной





Стенд для испытаний маховиков на разрыв

турбиной, если он легкий, или мощным электромотором, если он тяжелый, как маховик гиробуса.

До 4–5 тыс. оборотов в минуту маховик сохраняет свои исходные размеры — если его остановить и измерить самыми точными приборами, все будет как прежде. Но уже при частоте вращения, близкой к 5 тыс. оборотов в минуту, маховик как бы «раздается» в стороны, его диаметр сильно увеличивается, и после остановки маховик не возвращается к прежним размерам. Чем это вызвано?

Из физики известно, что каждое массивное тело стремится либо двигаться равномерно и прямолинейно, либо находиться в покое. При вращении маховика сила сцепления его частиц, определяющая прочность данного материала, заставляет эти частицы сворачивать со своего «естественного» прямолинейного пути и «ходить по кругу». И частицы начинают «растягивать» маховик, пытаясь его разорвать, что дало бы им возможность двигаться равномерно и прямолинейно.

Теперь находиться вблизи маховика чрезвычайно опасно. Совсем небольшого увеличения скорости вращения может оказаться достаточно, чтобы маховик вдруг резко вытянулся и разорвался, как точильный круг. Только если осколки точильного круга легко удерживаются тоненькими защитными кожухами, то осколки маховика, массой по полтонны (а маховики почему-то чаще всего разрываются на три части), способны наделать много бед. Я слышал, что при разрыве маховика в подвале одной старой фабрики осколок пробил все междуэтажные перекрытия и вылетел наружу, а уже падая, еще раз пробил крышу.

Маховик гиробуса в момент разрыва обладает энергией, которой хватило бы для пробега машины на 12–18 км. Но не доводить же маховик каждый раз до опасного предела. Поэтому, как правило, прочность



маховика используют всего на  $1/3$ , что во столько же раз снижает его энергоемкость, а стало быть, и пробег гиробуса. Вот откуда те самые 4–6 км, о которых упоминалось выше.

Итак, по каким причинам нельзя накопить в обычном маховике больше энергии? Во-первых, это малая прочность материала, из которого он изготовлен. Крупные отливки или поковки даже из лучших сортов стали не слишком прочны. В таких изделиях невозможно избежать мельчайших дефектов, сильно уменьшающих прочность всего маховика. Во-вторых, чем прочнее литой или кованый маховик, тем опаснее последствия в случае его разрыва, и тем больше запас прочности следует закладывать при его проектировании.

«А что, если изменить форму маховика? — подумал я. — Например, разместить всю массу на периферии, превратив маховик в тяжелый обод, связанный с центральной частью тонкими спицами, как в велосипедном колесе?»

Оказывается, специалисты уже это сделали. По сравнению с кругом древнего гончара и впрямь получилось лучше. Такой маховик накапливал энергии в каждом килограмме своей массы раза в полтора больше. Еще лучше накапливал энергию маховик в виде диска без отверстия, но к нему трудно крепить вал. Однако потом точные расчеты показали, что выгоднее помещать массу не дальше от центра, а, наоборот, ближе к центру, вследствие чего появились маховики, тонкие по краям и утолщающиеся к середине, — диски «равной прочности». Как это ни удивительно, но энергии они могли накопить в два раза больше, чем обод со спицами, и в три раза больше, чем гончарный круг, при той же массе маховика.

Так я пришел к важному для себя заключению: энергия каждого килограмма массы маховика зависит от его формы и прочности! Уже позже, по окончании института, я доказал математически существование этой зависимости, но еще раньше, в школьные годы, подсчитал, что если при изменении формы маховика — от самой худшей к самой лучшей — энергия возрастет незначительно, максимум в три раза, то при многократном повышении прочности во столько же раз увеличится и плотность энергии, причем это увеличение ничем



Маховики различных форм



не ограничено. Правда, тут получался порочный круг. Непрочный, например глиняный, маховик накапливает мало энергии, но разрыв его не так уж опасен, а прочный, скажем, стальной, может накопить большую энергию, однако разрыв его столь опасен, что приходится заботиться о повышении запаса прочности. А это опять-таки равносильно снижению прочности.

Конструкторам маховиков никак не удавалось вырваться из этого замкнутого круга, поэтому маховики играли вторую, если не третью, роль среди накопителей энергии...

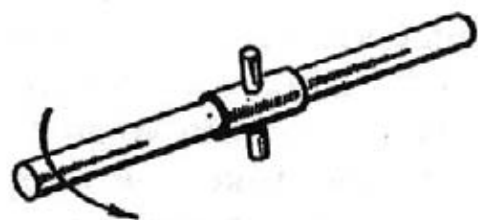
### Одним выстрелом — двух зайцев

Решение я нашел не сразу. Долго старался всякими хитроумными способами увеличить прочность маховика — ничего не выходило. Попытки уменьшить последствия разрыва надрезанием обода на мелкие части — чтобы осколки были поменьше, тоже ни к чему не привели. Я вспомнил, что так же надрезают корпуса гранат-лимонок, но безопаснее от этого они не становятся. Напротив, осколков прибавилось, и убойная сила гранаты увеличилась.

Помогли мне здесь, как это ни странно, занятия гиревым спортом. Чтобы укрепить кисти рук, мы клали на два крючка ломик и медленно наворачивали на него тоненький стальной тросик с тяжелой гирей на конце. Свитый из проволок, этот тросик никогда не рвался сразу, а лишь постепенно, проволочка за проволочкой. Разумеется, о высокой прочности стальных проволок и свитых из них тросов я знал и раньше, но до сих пор это как-то не увязывалось в сознании с массивным маховиком. И вот однажды, когда заброшенный на антресоли тросик случайно попался мне на глаза, я чуть было не воскликнул: «Эврика!» — и решил: маховик нужно делать из троса!

Я взял кусок троса в метр длиной, зажал его посередине в кольцевом зажиме — оправке, а саму оправу посадил на вал. Получился хоть и необычный, но маховик. Такие маховики я называл супермаховиками.

В чем преимущества супермаховика? Если вращать вал, то трос, как и обычный маховик, накопит кинетическую энергию. При этом частицы троса, стремясь двигаться по инерции, будут все сильнее растягивать его, пытаясь разорвать. Наибольшая нагрузка тут приходится



Супермаховик из троса

на середину троса. При увеличении скорости сверх меры трос начнет рваться, но рваться по частям, по одной проволочке. А тоненькие проволочки не способны пробить даже легкий защитный кожух. Стало быть, разрыв супермаховика из троса не причинит большого вреда!

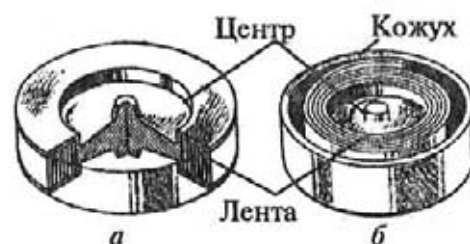


Однако это еще не все. Дело в том, что огромная прочность провололок дает возможность такому супермаховику накопить значительное количество энергии. Если прочность стальной струны выше прочности монолитного стального куска раз в пять, то при прочих равных условиях во столько же раз больше накопит энергии супермаховик из струны по сравнению с обычным маховиком той же массы. Но ведь условия-то совсем не одинаковые!

Обычный литой маховик, разорвавшись, способен наделать много разрушений, а разрыв супермаховика снаружи даже и не заметишь. Выходит, супермаховику не нужен слишком большой запас прочности, и его можно понизить примерно вдвое по сравнению с маховиком. То есть получается, что супермаховик из троса может накопить в каждом килограмме массы в 10 раз больше энергии, чем обычный стальной маховик. И при этом его разрыв не представляет опасности для людей! Эти качества, присущие именно супермаховику, — высокая плотность энергии и безопасный разрыв — приблизили его к «энергетической капсуле».

Несмотря на то что я был необычайно рад своей находке, идея вращать трос мне не очень нравилась. Такой трос, помещенный в кожух, оставит там много свободного места, он будет бесцельно взбаламучивать воздух, как пропеллер, затрачивая на это энергию. Да и разорваться подобный супермаховик может, в принципе, целиком — оторвавшаяся проволока не мешает свободно рваться другим. А это совсем нежелательно.

Поэтому после недолгих раздумий я решил навивать проволоку, из которой изготавливается трос, на барабан, как на катушку. Но вскоре мне пришла мысль, что вместо провололок можно взять такую же по прочности тонкую стальную ленту, чтобы намотка была плотнее, а для надежности склеить витки ленты между собой. Получится супермаховик, напоминающий по виду обычный маховик, только накапливающий гораздо больше энергии. Я назвал его ободковым, так как вся лента здесь должна была навиваться на обод барабана.



Ленточный супермаховик (а) и картина его разрыва в корпусе (б)

Разрыв ободкового супермаховика представлялся уже совершенно безопасным. При превышении скорости вращения первой разорвется наиболее нагруженная внешняя лента, которая тотчас же прижмется к корпусу и автоматически затормозит супермаховик. Оторванную ленту можно будет приклеить снова — и супермаховик опять готов к работе. От первоначальной идеи вращающегося троса я без колебаний отказался.



Наверное, я бы так сразу не отбросил идею тросового супермаховика, если бы знал тогда, что американские специалисты будут свыше 10 лет разрабатывать такие маховики. Правда, спустя некоторое время они убедились в неудобстве подобных конструкций и тоже перешли к ободковым супермаховикам.

Но идея идей, а пробовать надо — вдруг что-нибудь не так? Начались мои хождения по свалкам вторсырья, химическим и хозяйственным магазинам, по знакомым, работающим на производстве. Наконец я стал обладателем ящика с проржавевшей стальной лентой, банки резинового клея и бутылки бензина. На заводе друзья выточили мне несколько дисков из текстолита, на которые я собирался навивать ленту. И вот в один воскресный день я упросил товарища помочь мне изготовить супермаховики.

Мы очищали поверхность ленты бензином, мазали клеем и навивали на диски. Лента часто соскакивала, резала нам руки, падала на пол, так что приходилось всякий раз вновь стирать с нее пыль, но работу мы все равно закончили. Перед нами лежали три супермаховика диаметром по 30 см. Внешние слои ленты мы закрепили тонкой стальной проволокой и нагрели супермаховики в духовке, чтобы клей окончательно высох.

Я рассчитывал испытать супермаховики на разрыв с помощью двигателя от пылесоса. Пылесосный двигатель очень скоростной, вал его делает 15—18 тыс. оборотов в минуту.

Надев супермаховик на вал двигателя и закрепив его там, я зажал двигатель в тисках и включил в сеть. Начался разгон супермаховика. Вибрации то нарастали — казалось, что диск уже срывается с оси, — то снова стихали. Скорость вращения увеличивалась, о чем можно было судить по изменяющемуся реву двигателя. Но вот рев стал постоянным по тону, и я понял, что разгон прекратился, а супермаховик остался цел. Дальше двигатель не «тянул» — супермаховик гнал воздух, как вентилятор, от него дуло ветром, вся мощность двигателя уходила на создание этого ветра. Я выключил двигатель. Супермаховик долго, наверное с час, еще вращался, проходя через те же полосы вибраций, что и при разгоне.

Когда впоследствии мне удалось все-таки разорвать супермаховики на специальном разгонном стенде, я узнал, что мои кустарные изделия в несколько раз превосходили по плотности энергии маховики гиробуса фирмы «Эрликон» — лучшие по тем временам.

Но, самое главное, разрыв, как и ожидалось, не доставил никаких неприятностей. Разорвавшийся виток ленты не пробил даже тоненький, как консервная банка, кожух. Я приклеил такой виток клеем, обвил слоем проволоки, и супермаховик снова был готов к работе.



И результат был немалый — разрыв наступал при 30 тыс. оборотах в минуту, что соответствовало скорости обода почти 500 м/с, или плотности энергии около 0,1 МДж/кг. Супермаховик «ручной работы» одним махом обогнал по важнейшему показателю свинцово-кислотные аккумуляторы, на совершенствование которых потрачено уже более 100 лет!

А теперь о том, почему я назвал свое изобретение супермаховиком. Это теперь ко всему, что хоть немного лучше предыдущего, добавляют приставку «супер». Например «суперстар» — это, оказывается, не старей-престарей человек, как может показаться сначала, а суперзвезда, то есть звезда «покруче» обычной — как в астрономическом, так и в артистическом плане.

В те годы, когда был изобретен супермаховик, ко всякого рода иностранным приставкам относились настороженно. Боялись космополитизма! Хотя были уже и супермены, супертанкеры, не говоря уже о супергетеродинах, хорошо знакомых каждому радиолюбителю.

Но если говорить об изобретениях, то обычно выигрыш в одном полезном качестве был чреват проигрышем в другом. Например, чем более прочным был маховик, тем больше у него была плотность энергии, но тем более опасным становился его случайный разрыв. Приходилось идти на компромисс, и это касалось почти каждого изобретения. Однако встречаются и такие достаточно редкие случаи, когда выигрыш в одном полезном качестве ведет не к проигрышу, а к дополнительному выигрышу и в другом. Это очень ценное свойство изобретения называется в патентоведении «суперсуммарным эффектом». Вот и у моего маховика, полученного методом навивки, и плотность энергии увеличивается, и безопасность при разрыве повышается, и масса корпуса снижается за счет устранения тяжелого защитного кольца. Вот сколько суперсуммарных эффектов сразу! Поэтому и был назван новый маховик с этими суперсуммарными эффектами просто и удобно — супермаховик.

Впрочем, это еще не означало, что найдена желанная «энергетическая капсула». Надо было доказать, что по плотности энергии супермаховик может стать недостижимым для других аккумуляторов в такой же мере, в какой по плотности мощности недостижим для них обычный маховик. Ведь раскрученный маховик способен развить любую, самую высокую мощность, если его достаточно сильно тормозить. И разогнаться он может практически мгновенно, поглощая при этом мощность хоть целой электростанции. Ни один из накопителей не в состоянии принимать и выделять энергию при такой высокой мощности, как маховик.



## Далеко ли предел?

Действительно, где «потолок» плотности энергии супермаховиков? Только ли прочность материала определяет его? Например, тяжелый чугун и легкий дюралюминий почти одинаково прочны. Из какого же материала выгоднее делать маховик — из легкого или тяжелого?

Как ни парадоксально, но расчеты показали, что из легкого. Оказывается, не просто прочность, а удельная прочность, то есть отношение прочности к удельному весу материала, определяет плотность энергии маховика.

Максимум, что мы можем «выжать» из стали, даже самой совершенной, — это 30–50 кДж/кг, дальше маховик разорвется. А маховик из более легких титана, дюралюминия, магниевых сплавов при той же массе накопит до разрыва в полтора раза больше энергии. Неплохим материалом для маховиков являются пластмассы, особенно усиленные стеклонитью, так называемые стеклопластики. Тяжелые же материалы практически не годятся для маховиков. Медный маховик не накопит и десятой доли энергии стального, а свинцовый — и сотой доли энергии титанового или дюралевого маховика.

Раньше мне показалось бы абсурдным изготовление маховиков из дерева или бумаги. Теперь я узнал, что маховики из дерева, фанеры, бумаги, склеенной в несколько слоев, могут накопить больше энергии, чем такой же по массе маховик из стали, и при этом будут значительно дешевле его.

Например, плотность энергии маховиков из бамбука почти в 10 раз выше, чем из стали, и достигает 0,3 МДж/кг. Приблизительно вдвое хуже, но все-таки очень высокие показатели у маховиков из березы, сосны, ели. Плохо только то, что объем их слишком велик — дерево очень легкий материал. Объем маховиков с одним и тем же запасом энергии бывает равным лишь при одинаковой их прочности. Выходит, маховики из бамбука, дюралюминия и чугуна, имеющие одну и ту же прочность, при равном запасе накопленной энергии одинаковы и по объему. Однако дюралевый маховик в три раза, а бамбуковый в 10 раз легче, чем чугунный. Это подтверждено расчетами и испытаниями.

Совершенно неожиданными для меня стали данные, которые я вычитал о таких, казалось бы, хрупких материалах, как стекло и горный хрусталь. Оказывается, специально закаленное стекло, как и лучшая проволока, выдерживает 3 кН/мм<sup>2</sup>, а хрусталь и даже кварц еще прочнее — 10 кН/мм<sup>2</sup>. А ведь их плотность в три раза меньше, чем у стали! В результате маховик из плавленого и закаленного кварца способен накопить в килограмме массы до 5 МДж энергии, или в 150 раз больше, чем стальной маховик! То есть он уже вполне может стать



«капсулой». Автомобилю массой 1 т для прохождения 100 км будет достаточно пятикилограммового супермаховика из кварца.

К сожалению, кварц слишком дорог, а разрыв его, как и стекла, опасен. Осколков тут, правда, не образуется, маховик мгновенно разлетается в пыль, но весь и сразу. Это хуже, чем взрыв такого же количества тротила, во всяком случае, энергии при разрыве маховика выделится больше.

А что, если вместо монолитного стекла или кварца использовать волокна, тончайшие нити? Прочность у стеклянных и кварцевых волокон гораздо выше, чем у монолита. Например, тонкие волокна из кварца во время испытаний показали в три-четыре раза большую прочность, чем литой кварц, и в 10 раз большую, чем стальная проволока. Супермаховик, навитый из такого волокна, даже с запасом прочности обеспечит плотность энергии в 5 МДж/кг.

Продолжая поиск, я выяснил, что необычайной прочностью обладают волокна из углерода. Да-да, из обычного угля, графита и даже алмаза, который по химическому составу — тот же углерод. И насколько алмаз прочнее мягкого графита, настолько же волокно алмазной структуры прочнее графитового. А ведь графит в виде волокна имеет ту же прочность, что и стальная проволока, хотя плотность его в пять раз меньше! Маховик, навитый из графитового волокна, в 20–30 раз превзойдет стальной по плотности энергии, а навитый из алмазного волокна приобретет фантастическую энергоемкость — 15 МДж/кг!

Но пока цена такого материала тоже фантастическая, нить из него получить очень трудно — на сегодняшний день волокна имеют длину всего несколько микрон. Обнадешивает однако тот факт, что лет десять назад и графитовое волокно стоило весьма дорого, а теперь, когда его производство отлажено, из него делают даже лыжные палки. Поэтому можно надеяться, что и сверхпрочные волокна из алмаза скоро станут дешевыми, как уже подешевели, например, искусственно получаемые алмазы. Запасов же углерода, кварца, стекла в мире хоть отбавляй.

Итак, 20 кг супермаховика для 500 км пробега автомобиля! Это отличный результат для «капсулы». Но, как оказалось, прочностные возможности материалов еще далеко не исчерпаны.

Совсем недавно, на основе нанотехнологий в США и Австралии были созданы волокна и ленты фантастической прочности на основе того же карбона или углерода. При толщине ленты в сотни раз меньше волоса, она по прочности в тысячи раз превышает сталь, или ординарное графитовое волокно. Стало быть, его плотность энергии может составить тысячи мегаджоулей на килограмм, вероятнее всего 2500–3500 МДж/кг. Таковую плотность энергии даже вообразить себе трудно — это в тысячи



раз больше, чем у самых перспективных электроаккумуляторов. Супермаховик из этого «суперкарбона» массой 150 кг способен обеспечить пробег легкового автомобиля в 2 с лишним миллиона километров с одной раскрутки! То есть больше, чем может выдержать шасси машины.

Это даже не «капсула», а «сверхкапсула», такой, пожалуй, пока и не надо. К тому же суперкарбон, необходимый для ее создания, стоит очень дорого — сотни долларов за грамм. Вероятнее всего, этот материал со временем будет дешеветь, как и обычный карбон.

Но если спуститься с небес на землю и посмотреть, на что я со своей идеей «энергетической капсулы» мог рассчитывать сегодня, то я пришел к таким выводам.

Имеющихся в промышленности материалов — стальных лент, проволок, стеклянных и кварцевых волокон, волокон из графита, бора, специального дешевого волокна — кевлара, идущего, кстати, на покрышки для автомобилей, — вполне достаточно для создания супермаховичных накопителей с плотностью энергии большей, чем у лучших электроаккумуляторов. По другим полезным показателям — плотности мощности, КПД, долговечности, стоимости — супермаховики тоже намного превзойдут эти аккумуляторы.

«Заряжать» супермаховики можно с помощью обычного электродвигателя. Если требуется быстрая «зарядка», супермаховик нужно соединить с валом большого стационарного двигателя мощностью в сотни киловатт. Такой двигатель разгонит его за считанные минуты или даже секунды. А если время «зарядки» не регламентировано, то сойдет маломощный зарядный двигатель, который можно возить с собой на автомобиле и при необходимости подключать к электросети посредством шнура с вилкой, как мы включаем, например, пылесос.

То есть и по срокам «зарядки» супермаховики гораздо совершеннее электроаккумуляторов, которые, как известно, заряжаются часами. Кроме того, супермаховики воспринимают «зарядку» полнее, чем электроаккумуляторы, и стоимость накопленной в них энергии будет самой низкой по сравнению со всеми другими типами накопителей.

Теперь я уже мог со спокойной совестью работать над супермаховиками дальше, не опасаясь, что мои усилия пропадут даром, а идея «энергетической капсулы» будет расценена как нереальная или преждевременная.

Чтобы выявить сильные и слабые стороны супермаховиков, я решил построить и испытать несколько образцов из ленты и проволоки. Казалось бы, взял ленту или проволоку, намотал на катушку — и готов супермаховик. Но не тут-то было. При создании супермаховиков я столкнулся со многими трудностями — расслоением ленточного



витого обода, спаданием обода с центра — барабана, вибрациями при работе, закреплении последнего витка и другими. Какие хитроумные головоломки приходилось тут решать, я хочу показать на следующем примере.

Когда делаешь супермаховик из проволоки, навиваешь ее на катушку, один конец проволоки оказывается внутри, а другой обязательно выходит наружу. Это естественно — ведь им заканчивается намотка. Однако оставлять конец проволоки незакрепленным нежелательно. Если скрутить свободный конец с предыдущим витком, он этот виток разматывает или порвет — каждый миллиграмм массы проволоки при вращении создает огромные силы, разрывающие ее. Самое лучшее было бы «подсунуть» наружный конец под первые витки, но как это сделать? Сначала такое казалось мне невозможным. И все-таки выход нашелся.

Я закрепил оба конца проволоки на катушке, состоящей из двух отдельных половинок на одном валу, и начал крутить эти половинки в разные стороны. Проволока стала навиваться на них как обычно, с той лишь разницей, что, когда процесс намотки завершился, оба свободных конца проволоки остались внутри, а последний внешний виток пришелся как раз посередине обмотки. Потом я пропитал обмотку супермаховика клеем и высушил.

Этот способ изготовления супермаховиков и другие найденные мною способы, а также ряд предложений по конструкциям супермаховиков были отмечены авторскими свидетельствами. Изобретения мои оказались более ранними, чем похожие на них зарубежные, авторы которых сделали их совершенно самостоятельно, ничего не зная о моих находках. Просто диву даешься, как одинаково могут думать люди в разных концах света!

### Мои изобретательские зловключения

Здесь, как я полагаю, уместно рассказать о том, что представляло собой забытое теперь «авторское свидетельство» на изобретение и чем оно отличалось от принятого почти во всех странах мира патента. А заодно и о моих зловключениях, связанных с признанием супермаховика изобретением.



Проволочный супермаховик и принцип его намотки



Когда автор создает свое изобретение, то он как его собственник хочет иметь на него права; иначе «пираты», прознавшие про «секрет изобретения», начнут применять его самостоятельно, показывая большую «фигу» автору. Так, например, сейчас это часто делают с записями новых песен и фильмов. Чтобы получить такие



a



b



c



d

Некоторые патентные документы автора: авторское свидетельство СССР на первый супермаховик (a), патент России (b), патент США (c) и патент Китая (d) на адаптивный вариатор



права, изобретатель платит государству пошлину (немалую, между прочим!), и специальная служба проверяет среди миллионов других патентов «всех времен и народов», нет ли сходного, «порочающего» новое изобретение. Если нет — патент выдается, обычно на 20 лет. Изобретатель платит за поддержание этого патента в силе ежегодную пошлину, а дальше может делать с ним что угодно — может продать права полностью или частично, а может «положить под сукно», что тоже часто бывает.

После того как был образован СССР, вместо патентов изобретателям стали выдавать такие красивые «грамоты», подтверждающие их авторство: «авторские свидетельства». А собственником изобретения становилось государство, так сказать в «добровольно-принудительном» порядке. Зато не надо было платить пошлину, а в случае «внедрения» изобретения автору даже кое-что выплачивали, особенно если в числе авторов были ответственные работники министерств или директора предприятий, которых чаще всего брали в «соавторы» изобретатели. Патенты, хоть формально и существовали, почти не выдавались — пошлину за них все равно надо было платить, а реализовать патент в СССР было практически невозможно. В то же время государство продавало наши изобретения за рубеж, получая, конечно, в соответствующих странах патенты. Грабеж, короче, причем среди бела дня...

Но была и своеобразная выгода, которой пользовались хитрые «жучки-изобретатели» (а мне приходилось часто с ними встречаться, потому что я долгое время работал в патентной системе страны). За выданное авторское свидетельство, поданное от имени государственного предприятия (а иных почти и не было!), автору полагалась премия — до 50 руб. (это примерно месячная стипендия студента). Так вот, эти «жучки», разобравшись в патентных тонкостях, подавали заявки на изобретение сотнями. По сути дела, предложения были чаще всего бесполезные (ну, например, чайник с двумя носиками), но новые — таких в мире еще никто не заявлял. И выдавали «жучкам» авторские свидетельства, премии в придачу, а еще и титулы почетные присуждали.

Чтобы снизить поток таких «липовых», никому не нужных изобретений, государство придумало хитрость — проверять предложения на полезность, чтобы «туфту» всякую ему не «подсовывали». Заявки на изобретение отправляли по заводам и НИИ на отзыв, а «жучки», узнав имя своего эксперта, встречались с ним и договаривались, часто небезвозмездно для эксперта.



Я же был слишком молод, да и беден, чтобы «договариваться» с экспертом. И на мою заявку на супермаховик (первую в мире, между прочим!) пришел разгромный отзыв из Академии бронетанковых войск. Не буду скрывать и автора отзыва — народ должен знать своих героев — это был доктор технических наук полковник Ротенберг Роберт Владимирович. Его уже нет в живых, и умер он, эмигрировав за рубеж (царство ему небесное!), но вреда своим отзывом принес он и мне, и государству немало. В отзыве говорилось, что маховики должны изготавливаться литьем или ковкой, а навивать их из лент, проволок, волокон и тому подобных материалов по меньшей мере несерьезно. Заявка была подана в мае 1964 года, а уже в январе 1965 года на аналогичное устройство была подана заявка в США и выдан патент. А потом так и посыпались патенты на варианты супермаховиков.

А мою «отказную» заявку по действующим на тот момент законам отправили в существовавшее тогда секретное хранилище — до лучших времен. Когда же эти лучшие времена наступили и весь мир стал вить супермаховики из лент, проволок и особенно волокон, не считаясь с авторитетным мнением нашего бронетанкового полковника, я «возмутился» и подал на апелляцию. В 80-е годы я уже поднабрался патентного опыта, работая в Апелляционном совете.

Авторское свидетельство, конечно же, выдали, но срок-то действия патентных прав — почти через двадцать лет — прошел! Итак, приоритет на изобретение супермаховика — наш, советский! А чтобы продать этот патент кому-нибудь из «буржуев» — фигу! Потому что срок действия патента вышел. Теперь каждый, кому не лень, может производить супермаховики, описанные в заявке, никому ничего не платя. «Dura lex, sed lex!» — «Закон суров, но это закон!» — как говорили древние римляне. Да и справедлив, по большому счету, этот закон. А то какой-нибудь куркуль-изобретатель так и будет сидеть на своем «открытии», и плати ему и его наследникам хоть «тыщу» лет! Дудки! Прогресс тормозить нельзя — получил свое за 20 лет и «отлезь»! Или новое что-нибудь придумай!

Но когда положенное по закону не можешь получить, а тем более держава свою выгоду упускает — обидно! Однако я не держу зла на покойного полковника — не верится, что он хотел нанести ущерб своей стране, за которую воевал!

Молодые люди сейчас могут и не подозревать о нашей бывшей неуклюжей патентной системе. Но что такая система была — за это я вам ручаюсь и как изобретатель, и как бывший патентный работник!



## Как отобрать энергию?

*Во весь рост встает проблема отбора энергии у супермаховика — одна из важнейших для «энергетической капсулы»...*

### Трудности «жизни» в вакууме

Со временем в каждом килограмме моего самодельного супермаховика уже накапливалось все больше энергии по сравнению с другими аккумуляторами. И вот однажды я задумался: несомненно, что будущие супермаховики смогут накапливать столько энергии, сколько ее, например, в летящем с космической скоростью метеорите, однако сможем ли мы «отбирать» эту энергию? Какие трудности здесь встретятся?

Первая же мысль была о подшипниках. Выдержат ли они столь высокие скорости вращения супермаховика? Существуют ли вообще подшипники, способные работать при таких скоростях?

Прежде всего я решил подсчитать скорости, которые могут быть у супермаховика на автомобиле. Для простоты взял супермаховик диаметром в метр, что вполне годится и для автомобиля, и для автобуса, и для многих других машин.

Каждый материал для супермаховика способен выдержать лишь определенную окружную скорость (скорость на самой отдаленной от центра точке обода). При этом, оказывается, никакого значения не имеет диаметр супермаховика — так распорядилась природа. А прочность материала следует повышать пропорционально квадрату скорости; в том же соотношении будет возрастать и энергия.

Например, стальная лента выдерживала во время испытаний скорость 500 м/с, а кевлар — 1000 м/с. Отсюда и энергии в кевларовом супермаховике накапливалось в четыре раза больше, чем в таком же по массе ленточном. Если бы кевлар имел ту же плотность, что и сталь, то при скорости 1000 м/с напряжения в нем были бы в четыре раза больше, чем в ленте, и супермаховик мог разрушиться. Но в действительности с ним ничего не происходит. Ведь кевлар почти в пять раз легче стали, и удельная прочность у него значительно выше.

Итак, какие же обороты будут у стального и кевларового маховиков? Если поделить окружную скорость на радиус супермаховика, мы получим его угловую скорость, а по ней уже просто рассчитать число оборотов, как в секунду, так и в минуту. Ленточный супермаховик будет вращаться со скоростью 1000 рад/с (радиан в секунду), что соответствует 160 оборотам в секунду, или 9 559 оборотам в минуту. Вращение кевларового супермаховика будет вдвое быстрее — около 19 тыс. оборотов в минуту.



Но ведь такую угловую скорость развивает двигатель даже обычного бытового пылесоса, с чем его подшипники прекрасно справляются. Скорость вращения мощных газовых турбин обычно превышает 30 тыс. оборотов в минуту, а там есть подшипники, работающие в худших условиях, чем в супермаховике. В турбинах на подшипники действуют нагрев, сильные вибрации и другие отрицательные факторы, которые в супермаховике отсутствуют.

Сейчас есть подшипники, выдерживающие 100–150 тыс. оборотов в минуту и более; этого вполне хватило бы и для супермаховика из алмазного волокна. Если к тому же один подшипник вставить в другой, то можно добиться вдвое большей скорости вращения, так как на каждый из них придется только половина общей скорости.

Хорошо бы, конечно, обойтись совсем без подшипников, ведь на их вращение с нагрузкой, тяжелым супермаховиком, тоже идет энергия, а она нам так дорога...

А что если закрепить над супермаховиком кольцеобразный магнит, который будет воспринимать его силу тяжести? Правда, в этом случае супермаховик должен быть стальной. Чтобы получить тот же эффект с кевларовым, стеклянным и графитовым маховиками, надо вмонтировать в них второй магнит, взаимодействующий с первым. И лучше это сделать так, чтобы магниты работали не на притяжение, а на отталкивание, тогда супермаховик сам «вывесится» на определенной высоте и в таком положении будет вращаться.



Магнитная подвеска маховика в виде «батарей» магнитов

В этом нетрудно убедиться, если взять два кольцевых магнита, например от старых динамиков из репродуктора, и надеть их на деревянную или любую другую немагнитную палочку одноименными полюсами друг к другу. Верхний магнит повиснет над нижним, и потребуется большая сила, чтобы приблизить их друг к другу.

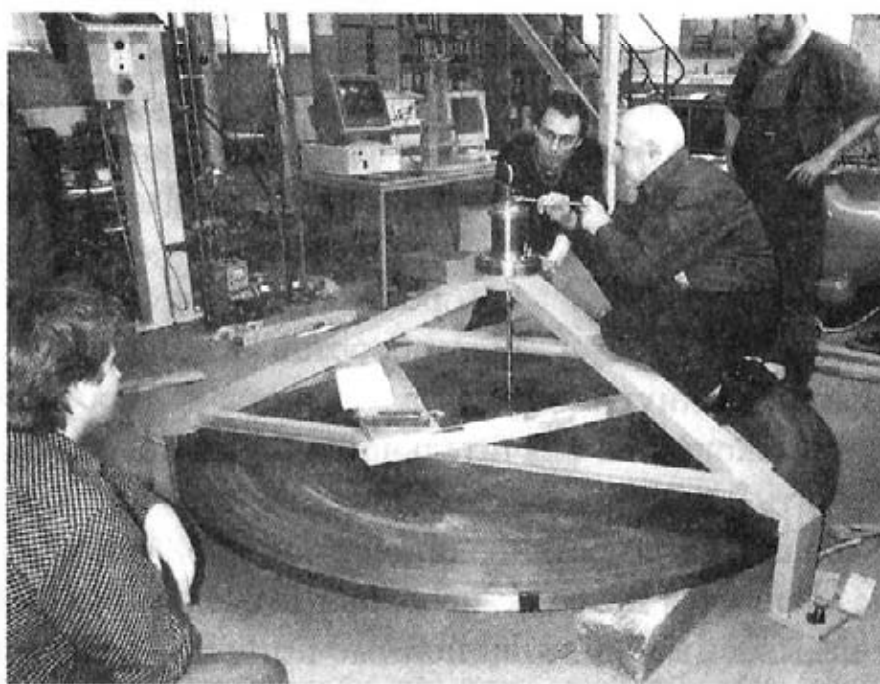
Но все-таки и в такой магнитной подвеске нужны подшипники. Во-первых, супермаховик при тряске и толчках может «продавить» магнитную подвеску, достаточно мягкую. Во-вторых, постоянными магнитами нельзя полностью вывесить какое-нибудь тело: супермаховик здесь разгружен только от силы тяжести, а не от боковых сил. Подшипники будут лишь фиксировать подвеску без нагрузки — ее ведь «нейтрализуют» магниты, и энергии на их вращение потребуется немного.



Мои магнитные подвески были признаны изобретениями, и на них мне выдали авторские свидетельства.

Надо сказать, эти подвески производили огромное впечатление на наблюдателей. Одна из таких подвесок поддерживала супермаховик массой 7 кг и диаметром около полуметра. В ней были использованы 10 магнитов, каждый массой около 30 г и диаметром 3 см, и миниатюрные фиксирующие подшипники, размером не больше таблетки. Показывая своим гостям устройство подвески, я как бы нечаянно подталкивал супермаховик, и он начинал медленно, со скоростью диска электропроигрывателя вращаться. Но если после выключения проигрывателя его диск через считанные секунды останавливался, мой супермаховик продолжал крутиться в течение всего разговора, и, казалось, скорость его не уменьшалась. Гости уже из принципа ждали час, другой, но супермаховик и не думал останавливаться. «Неужели это вечный двигатель?» — в изумлении спрашивали меня. «Подождите до утра, — отвечал я, — может, и остановится».

Судя по расчетам, такой супермаховик, раскрученный до скорости 30 тыс. оборотов в минуту, крутился бы до остановки многие месяцы! Да и этот срок можно было увеличить, если бы не фиксирую-



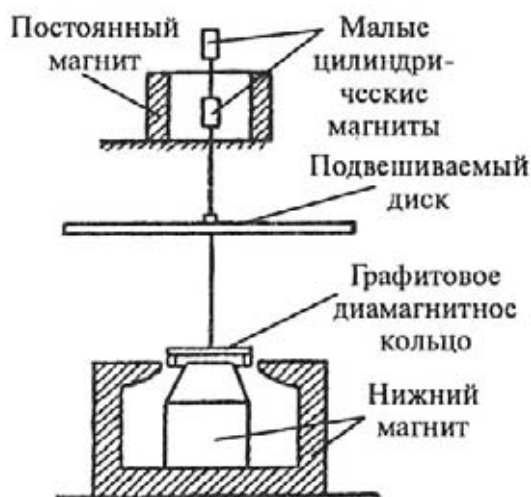
Автор монтирует свою магнитную подвеску крупного маховика в университете города Циттау (Германия)

щие подшипники, которые, несмотря на малый размер и ничтожные потери энергии, все же «подтормаживали» супермаховик. Замечу, что совсем недавно, в 2003 году, по моему изобретению в Москве изгото-



вили магнитную подвеску для полутонного маховика, которую затем перевезли в Германию и успешно испытали там для применения в накопителе, предназначенном для рекуперации энергии, о чем еще пойдет речь в дальнейшем.

А как вывесить супермаховик совсем без механического контакта в подшипниках? Надо проверить и такую возможность. Для этого подойдут большие кольца из диамагнетиков — то есть из материалов,



Бесконтактная подвеска  
Е. Штейнгровера

отталкивающихся от магнитов, например из графита, — которые не дадут супермаховику «сваливаться» набок. Кольца эти будут выполнять роль фиксирующих подшипников. Правда, они займут много места. Но если сам супермаховик изготовлен из графита?.. Над этим стоит подумать! Только потом я узнал, что подобные «бесконтактные» подвески уже давно созданы, причем наиболее совершенные из них разработаны немецким ученым Е. Штейнгровером.

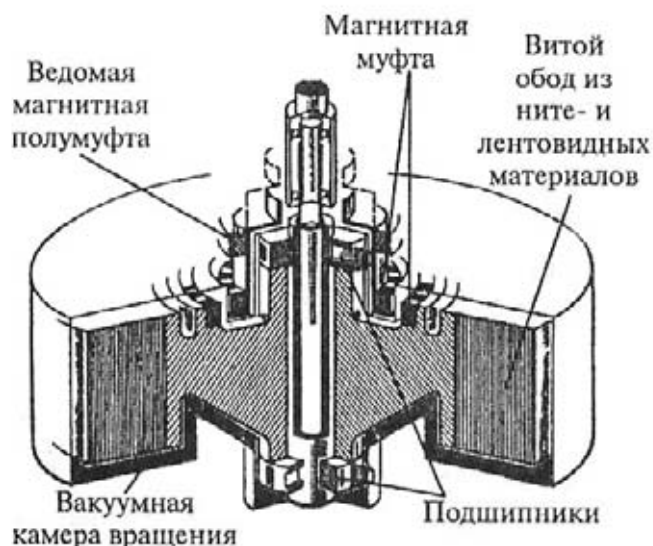
Чтобы «помочь» постоянным магнитам, можно установить еще и электромагниты. Как только супермаховик задумает «свалиться» набок, это уловит специальный датчик и включит соответствующий электромагнит, который выправит положение. Такая система называется «следающей». С ее помощью ученые добились скорости вращения полностью вывешенного шарика в 800 тыс. оборотов в секунду, или почти 50 млн оборотов в минуту!

Подвесив маховик со значительной массой подобным образом, можно получить столь малое сопротивление, что разогнанный маховик будет вращаться до остановки десятки лет! Однако для этого в камере, где вращается маховик, необходимо создать высокий вакуум, иначе так называемые вентиляционные потери — потери из-за трения маховика о воздух — «съедят» весь запас энергии за считанные часы.

Интересно, что при вращении маховика в вакууме можно вообще практически избавиться от трения в опорах. Для этого нужно подшипники маховика, изготовленные из вполне обычных материалов — графита, полиэтилена или на молибденовой основе,



облучить потоком электронов. Это явление обнаружили российские ученые, которые назвали его «эффектом аномально низкого трения», сокращенно АНТ. Для облучения подшипников супермаховика достаточно миниатюрной «электронной пушки», наподобие электронно-лучевой трубки (кинескопа) телевизора, только в сотни раз менее сложной, крупной и мощной, чем этот кинескоп.



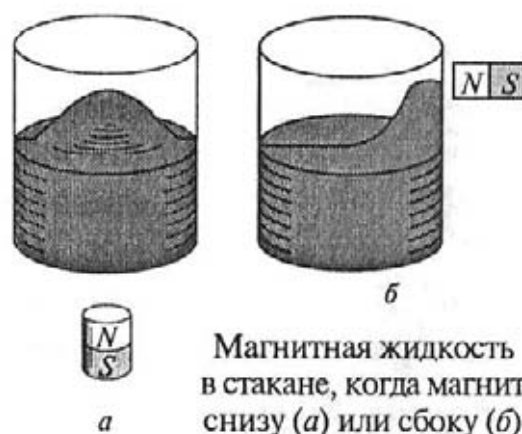
Супермаховик с использованием эффекта АНТ

Тут возникает вопрос: а как же отбирать накопленную энергию через герметичную стенку вакуумной камеры? Ведь вал сквозь нее не пропустишь — никакие сальники и манжеты, как бы плотно они ни обхватывали вал, не смогут помешать доступу воздуха в камеру.

И все-таки есть способ вывести вал маховика наружу. Но для этого придется использовать не обычные уплотняющие устройства в виде сальников или резиновых манжет, а специальные, изготовленные из магнитной жидкости.

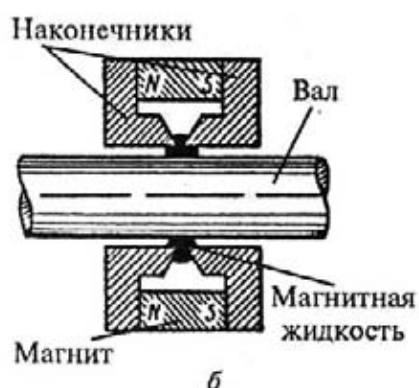
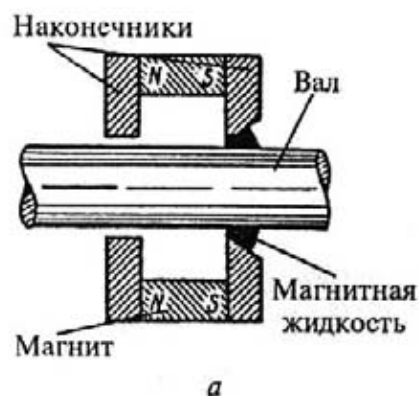
Магнитная жидкость — это коллоидный раствор тончайшего порошка феррита в керосине, масле, воде или в некоторых других жидкостях.

Частицы феррита в магнитной жидкости настолько малы, что, выложив их цепочкой, мы на одном миллиметре длины уместили бы 100 тыс. таких частиц!



Иначе и нельзя: если частички будут больше, раствор быстро оседет. Так, например, ведет себя крупномолотый кофе, размешанный в воде. Растворимый же кофе имеет очень тонкий помол и в воде превращается в стойкий коллоидный раствор. Поэтому и частицы феррита в магнитной жидкости, как правило, не крупнее частиц растворимого кофе. Если такую магнитную жидкость налить в стакан и снизу поднести магнит, то она вспучится горбом, и как только мы начнем передвигать магнит в ту или иную сторону, частицы «поползут» вслед за ним.





Магнитные уплотнения с магнитной жидкостью стального вала (а) и немагнитного вала (б)



Воздушный шарик с магнитным уплотнением

Для того чтобы надежно уплотнить стальной вал, нужно надеть на него кольцеобразный магнит, а зазор между магнитом и валом заполнить магнитной жидкостью. Теперь выведенный через стенку вакуумной камеры вал будет вращаться, не нарушая ее герметичности.

Я даже сделал модель для демонстрации действия магнитного уплотнения. В надутый прозрачный резиновый шар вставил заводную игрушку, ключ от которой через описанное магнитное уплотнение вывел наружу. Сколько я ни заводил игрушку — уплотнение не пропускало воздуха.

Магнитные уплотнения необходимы в том случае, когда требуется именно механическое вращение вала супермаховика. Если же нужно получить от супермаховика электроэнергию, то дело проще. Устанавливаем внутри камеры вращения вместе с супермаховиком электрическую машину — генератор, а провода выводим наружу через герметичные изоляторы. Подавая ток по проводам в машину, которая в этом случае будет работать в режиме электродвигателя, разгоняем супермаховик. Потом переводим машину в режим генератора, и она начинает выдавать электрический ток, отбирая энергию у супермаховика. Такой способ отбора энергии, пожалуй, наилучший. Ведь ток можно использовать для каких угодно целей — и для освещения, и для питания приборов, и для движения электромобилей. Об этом способе поговорим подробно позже.

Чтобы получить энергию в виде потока жидкости, например масла под давлением

для приведения в движение механизмов в шахтах, где электрическая искра способна вызвать пожар, вместо электромашины в камеру вращения нужно поместить гидромашину. Она так же, как и электро-

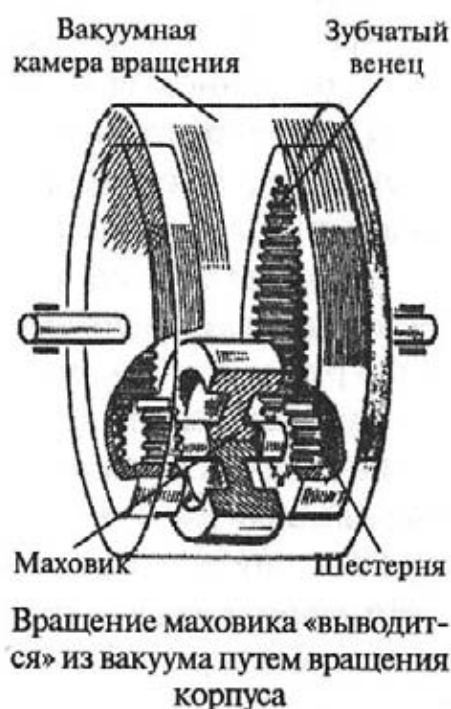
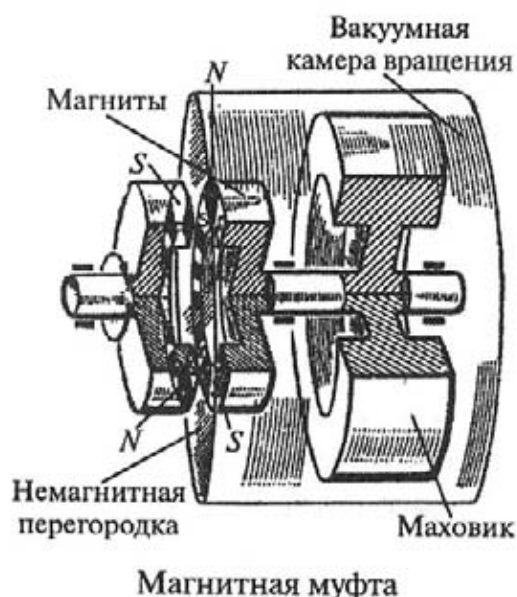


машина, может работать в режиме двигателя, разгоняя супермаховик, и в режиме генератора — насосном режиме, качая масло энергией супермаховика. Разумеется, из камеры с супермаховиком будут выходить уже не провода, а трубочки, по которым потечет масло. Энергией потока масла можно приводить в действие гидродвигатели, гидроцилиндры, заряжать гидроаккумуляторы, о которых речь шла в самом начале книги.

В случае использования камеры из немагнитного материала, вращение можно вывести наружу через стенку с помощью магнитной муфты, в которой установлены сильные постоянные магниты. Иногда вращение выводят из герметичного пространства с помощью так называемой «поводковой» муфты. Кроме того, существуют особые «волновые» передачи, получившие в последнее время большое распространение; они тоже могут передавать вращение из герметичного корпуса.

Есть еще способ вывести энергию супермаховика наружу — посредством вращения его корпуса.

Допустим, нам понадобилось пробурить скважину, взять пробу грунта или проделать другую механическую работу на дне океана, на глубине около 5 км, где давление воды огромно. В таких условиях очень трудно воспользоваться традиционными источниками энергии — двигателями и электроаккумуляторами. Действительно, двигателю нужен воздух, который, однако, с поверхности по трубке не подведешь — ее раздавит давлением воды. Электрический кабель





тоже не выдержит давления — будет пробой. Маховик же выделяет энергию непосредственно в виде вращения вала, без кабелей и труб. Он-то нас и выручит.

Конечно, помещать вращающийся маховик прямо в воду бессмысленно — его сразу же остановит сопротивление воды. Целесообразнее поступить следующим образом. Заключим маховик или, если нам надо много энергии, супермаховик в герметичную вакуумную камеру, лучше сферическую, чтобы она могла противостоять давлению. При этом закрепим его не в центре камеры, а несколько ниже. Супермаховик массой в сотни килограммов будет висеть подобно маятнику, стремящемуся под действием гравитации сохранить свое наиболее низкое положение. Дальше все просто. Свяжем супермаховик понижающей механической передачей с камерой, и он станет вращать ее, только гораздо медленнее, чем вращается сам. Это очень напоминает бег белки в клетке-колесе. Белка выступает там как бы в роли супермаховика, а колесо — та же вращающаяся камера. Теперь мы можем отбирать энергию не от самого супермаховика, а от вращающейся, правда с меньшей скоростью, камеры.

К этой камере легко приделать любой инструмент: ковш, бур, фрезу — в общем, все, что надо. Когда камера встретит сопротивление (например, порода упрутся в твердую породу), супермаховик начнет вращать ее с большим усилием. Но даже если порода и в этом случае не поддастся, никакой поломки или аварии бура не произойдет. Супермаховик просто «заходит» по кругу внутри камеры, пока не уменьшит нагрузку.

Заряжаться — раскручиваться супермаховик сможет от вращения своей же камеры. Достаточно прикрепить прямо к ней, как к валу корабля, гребной винт, и она быстро закрутится во время спуска на дно за счет собственной тяжести и тяжести супермаховика.

Это супермаховичное «беличье колесо» и ряд других систем вывода энергии из вакуумной камеры, придуманных как мной самим, так и вместе с товарищами, были признаны изобретениями. Еще один шаг к «капсуле» сделан!

Чего же удалось достичь? В супермаховике можно накопить огромную энергию, эту энергию несложно надолго «законсервировать», используя вакуумную камеру, магнитные подвески, быстроходные подшипники. Накопленная энергия выводится из вакуумной камеры, причем выводится в любом удобном для нас виде: в виде вращения вала или корпуса, в виде электрического тока, напора жидкости (масла). Но супермаховик, отдавая кинетическую энергию, постепенно останавливается. Отразится ли снижение скорости на работе «энергетической капсулы»?



## Возможен ли «мягкий» маховик?

Что касается супермаховиков, у которых энергия отбирается электрическим или гидравлическим путем, то тут все ясно. Электро- и гидроприводы можно регулировать «мягко», так что «потребитель» и не догадается об изменении скорости супермаховика.

Особенно успешно регулируется гидропривод. Гидронасос состоит из нескольких поршеньков, приводимых в движение шайбой, к которой они шарнирно прикреплены. Шайба обычно наклонена таким образом, что за один ее оборот поршенек проделывает вместе с ней некоторый путь вверх-вниз. Уменьшив угол наклона шайбы, поставив ее почти параллельно поршенькам, ход последних можно сделать едва заметным, с увеличением угла наклона увеличится и ход поршеньков. Такая регулировка позволяет менять скорость вращения вала от нулевой до самой высокой.

Предположим, на автомобиле установлены обычный гидродвигатель и супермаховик с гидравлическим приводом, причем на супермаховике — регулируемый насос. Как будет производиться движение машины?

Сначала шайба насоса чуть наклоняется, в гидродвигатель подается немного масла, и он тихонько «трогает» автомобиль. По мере его разгона шайба наклоняется все больше и больше, повышая мощность насоса, а стало быть, и скорость автомобиля. Если супермаховик только что «заряжен» и скорость вращения его высока, то можно ограничиться малым наклоном шайбы; если же скорость вращения основательно упала, то надо увеличить угол наклона, и скорость автомобиля не изменится. Конечно, когда шайба дойдет до предельного положения, регулировка будет уже неэффективна.

Обычно допускается снижение скорости вращения супермаховика вдвое, например с 12 до 6 тыс. оборотов в минуту. Но не следует думать, что и энергии его мы используем тоже половину. Так как при снижении скорости вдвое энергия супермаховика уменьшается в  $2^2$ , то есть в четыре раза, соответственно мы получаем от него  $3/4$ , или 75 %, всей энергии. Вот какой «глубокий» отбор полезной энергии можно произвести от маховичных накопителей.

Точно так же обстоит дело и с электроприводом, только вместо шайбы здесь применяется так называемое частотное управление. Оно современно и хорошо разработано, мы даже используем его в бытовых приборах, например в вентиляторах.

Но как ни удобны электро- и гидроприводы, они все-таки сложны. КПД — около 0,8–0,9, бывает и чуть повыше, — преобразование механической энергии в поток жидкости или электронов требует за-

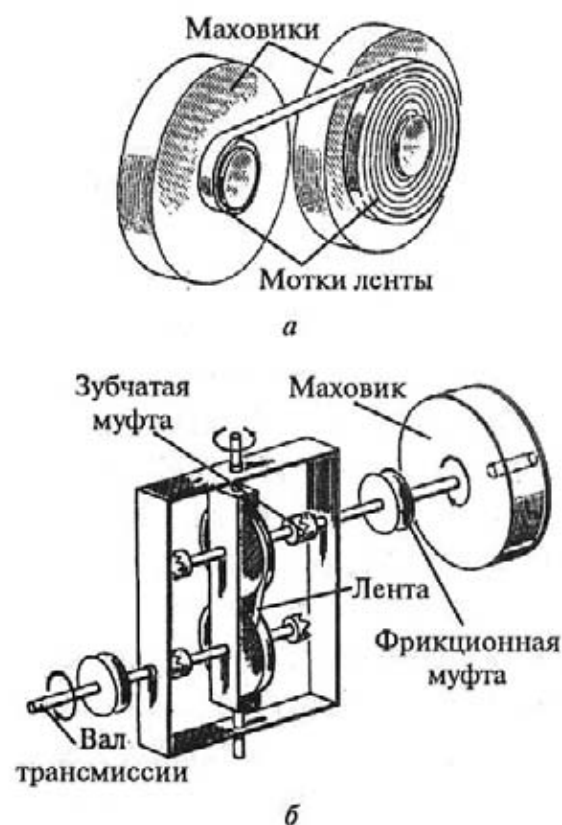


трат — «налога» на это преобразование. Их масса велика, да и стоят они недешево. А главное, эти приводы не позволяют отобрать у маховика всю энергию, довести его до остановки. Почему же нельзя получить от маховика больше энергии?

Дело в том, что всякий привод хорошо работает только на той скорости, на которую он рассчитан. Если скорость супермаховика сильно снижается, то электрогенератор, соединенный с ним, дает слабый ток, а гидронасос — невысокое давление масла. Привод становится мало-мощным, КПД его падает. Вот потому-то оставшаяся в супермаховике четверть всей накопленной энергии, как правило, не используется.

Сказанное относится к разгону автомобиля. А что происходит при его торможении? Ведь чтобы не потерять при этом кинетическую энергию автомобиля, нам надо перекачать ее в супермаховик.

Для привода безразлично, передавать ли энергию от супермаховика автомобилю или от автомобиля супермаховику. Поэтому на схемах обычно изображают автомобиль в виде супермаховика на одном валу привода, а супермаховик-накопитель — на втором. Так вот, электро- или гидропривод сумеет отобрать у автомобиля, как и у супермаховика, те же 75 % энергии, снизив его скорость лишь вдвое. А куда годится такое торможение, после которого автомобиль все еще движется, хотя и в два раза медленнее?!



«Магнитофонный» привод (а)  
и схема рекуператора энергии  
на его основе (б)

И я стал придумывать привод, который мог бы «перекачивать» энергию автомобиля в супермаховик и наоборот практически полностью, — своего рода «энергетический насос», способный отбирать энергию у супермаховика до самой его остановки. Причем КПД этого привода-насоса должен быть выше, чем у любого другого типа привода.

Что и говорить, задача была не из легких. Но неожиданно мне повезло. Однажды я увидел во сне... магнитофон. Вот этот магнитофон, вернее, его вращающиеся кассеты и натолкнули меня на правильное решение.

Для проверки своей мысли я изготовил специальные кассеты, где намотка начиналась почти от самого вала, и, поставив их на магнитофон, включил его в режиме перемотки.



В то время как одна кассета, на которой ленты было немного, трогалась с места, другая, полная кассета, почти не проворачивалась. Затем, по мере намотки ленты на первую кассету, вторая разгонялась все больше и больше. Наконец, когда первая кассета заполнилась, ее скорость вращения стала едва заметной. Зато вторая кассета, с которой лента сматывалась, вращалась очень быстро, совсем как разогнанный супермаховик.

Идея была найдена, далее следовала техническая работа. Не вдаваясь в подробности изготовления привода, хочу сказать, что ленту для него я взял такую же, какую использовал в супермаховиках — стальную, толщиной 0,1 мм и шириной 40 мм.

«Магнитофонный» привод позволял передавать энергию от автомобиля супермаховику или, что одно и то же, от одного супермаховика другому, почти без потерь — на 99 %! При торможении автомобиля неподвижный супермаховик разгонялся, принимая чуть ли не всю энергию автомобиля и доводя его практически до остановки, а затем разгонял неподвижный автомобиль примерно до той же скорости, что была у него до торможения. Сам супермаховик при этом останавливался.

«Магнитофонный» привод был признан изобретением, и мне выдали на него авторское свидетельство.

Хотя этот привод получился значительно легче, меньше и экономичнее любого другого привода для разгона и торможения машин, он работал как бы по заданной программе, всегда одинаково. Регулировать его надо было заранее, до пуска. А ведь автомобиль приходится тормозить и разгонять в зависимости от того, какая ситуация на дороге. Вот для метропоезда, движению которого почти ничего не мешает, магнитофонный привод, наверное, подошел бы. Для автомобиля же лучше поискать что-нибудь иное.

Чтобы полнее использовать энергию маховика и регулировать скорость его вращения без какого-либо привода, можно менять расположение массы в маховике, то есть либо отодвигать ее от оси вращения, либо приближать к ней. Всем известно, чтобы вращаться быстрее, например в танцах на льду или на так называемой скамье Жуковского, человеку надо сгруппироваться, «собрать» руки и плечи поближе к туловищу. Для замедления вращения ему следует, наоборот, раскинуть руки пошире,



«Человеческая» модель «раздвижного» маховика



отодвигая тем самым часть массы подальше от оси вращения. Лучше держать в это время в руках грузы, например гантели. Так и в маховике: если изготовить его части раздвижными, то складывая части, можно ускорить вращение, а раздвигая, — замедлить. И это все при постоянном запасе энергии в маховике.

Задача создания «раздвижных» маховиков уже давно привлекает изобретателей. Однако большинство энтузиастов избирают неверный путь. Об этом можно судить хотя бы по тому, что на высоких оборотах их маховики отказываются работать.

Многие устройства — почти точное повторение раздвижного патрона токарного станка. Только грузы в них раздвигаются винтами или рычагами. Я уже говорил, что при вращении маховика его частицы, стремясь двигаться по инерции, то есть прямолинейно, а не по кругу, создают настолько большие усилия, что рвут монолитную сталь. А здесь все эти гигантские силы приходится на винты, рычажки и другие «хлипкие» механизмы. Где им устоять? Поэтому и рвутся «раздвижные» маховики, не достигая и десятой доли энергоемкости даже обычных маховиков. Их авторы будто заранее позаботились о размерах и массе осколков, специально разрезав монолитный маховик на части и скрепив их непрочными связями.

Не лучше показали себя заливные и насыпные маховики. Такие маховики изготавливают полыми, в виде бочки, и для увеличения инертности заполняют водой, ртутью или даже дробью. Когда же нужно уменьшить инертность, заполнитель либо изымают из маховика, либо тем или иным способом «стягивают» к центру.

Но изобретатели не учитывают, что жидкость или дробь сами не несут своей нагрузки. Все усилия, связанные со стремлением «вырваться» из кругового движения, заполнитель перекладывает на тонкую стенку полого маховика. Жидкость, а тем более дробь, при вращении создает в маховике давление в тысячи атмосфер (сотни мегапаскалей), которое без труда взрывает тонкостенный сосуд — маховик. Попытки сделать стенку толстой не приносят успеха — слишком мало остается места для жидкости, и сосуд превращается в заурядный монолитный маховик.

Другой порок «заливных» маховиков заключается в очень малом КПД. При заливке жидкости на ходу почти половина кинетической энергии маховика переходит в тепло, так как жидкость тормозит маховик, а при изъятии жидкости из маховика теряется вся ее кинетическая энергия — ведь жидкость нужно как бы остановить, сделать неподвижной. Как же быть с изъятием жидкости, если она будет иметь колоссальное давление и сверхзвуковую скорость? Тогда ее никаким насосом не откачаешь!



Вот если бы жидкость, дробь и прочие заполнители сами несли свою нагрузку да еще обладали высокой прочностью... А почему бы не применить в качестве заполнителя стальную ленту — ту, что идет на намотку супермаховика? Пусть она наматывается на вал в центре такого же ленточного супермаховика, понижая его инертность, и, наоборот, сматывается с вала, прижимается к внутренней поверхности ленточного обода, повышая инертность супермаховика. К тому же лента-заполнитель сама несет свою нагрузку.

Вышел обычный ленточный супермаховик, в котором лента, однако, была склеена только на поверхности обода. Отходя от обода в виде двух или нескольких витков, она дальше наматывалась уже без клея. Когда намотка достигла вала супермаховика, я закрепил на нем концы ленты. Сам супермаховик был посажен на этот вал свободно в подшипниках. Стоило теперь остановить вал, и лента начинала навиваться на него, уменьшая инертность супермаховика. Скорость его вращения при этом увеличивалась.



«Мягкий» супермаховик

Картина получалась парадоксальная — супермаховик никто не разгоняет, он предоставлен самому себе, и все же он разгоняется! И будет разгоняться до тех пор, пока вся энергия, накопленная в супермаховике, не перейдет в тонкий внешний слой и не разорвет его!

Это явление напоминает эффект кнута. При ударе об пол вся кинетическая энергия длинного кнута переходит в его кончик, поскольку центральная часть кнута, прикоснувшись к полу, останавливается. Сосредоточившись в самом кончике, кинетическая энергия так сильно разгоняет его, что мы слышим резкий взрывообразный звук, а кончик кнута при этом нередко отрывается.

Практическая польза от саморазгоняющегося супермаховика очевидна — время от времени разгоняя маховик его же энергией, мы обеспечиваем наивыгоднейшие условия работы привода, ведь супермаховик до выделения всей своей энергии вращается с постоянной скоростью. А чтобы отпущенный вал не раскручивался в обратную сторону, его надо связать с супермаховиком храповой муфтой, допускающей вращение только в одну сторону.

Соединив вал подобного маховика с машиной, мы повысим «мягкость» рабочей характеристики — ценнейшее свойство для большинства машин. В чем выражается эта «мягкость»? При торможении обычного маховика он сразу не замедлится — таково свойство маховиков. Если мы затормозим его слишком сильно, то либо вал, либо



другая деталь сломаются. Рабочую характеристику в этом случае называют «жесткой».

Если же мы попытаемся остановить таким образом вал «мягкого» супермаховика, то он сперва поддается, замедлится. Потом мы почувствуем, что вал как бы набирает силу, — на него навиваются все новые и новые витки ленты, диаметр намотки растет, — и мы уже не в состоянии удержать его — вал прокрутится. Чуть отпустив вал, мы тем самым ослабим нагрузку, и вал раскрутится быстрее супермаховика, передавая ему лишние витки ленты. Вот такая характеристика — «мягкая»!

«Мягким» супермаховиком можно производить, например, плавные торможения и разгоны машин. Он способен работать даже в режиме «часовой пружины», только в тысячи раз более энергоемкой. Правда, «заводить» такую пружину посложнее, чем обычную.

Мои конструкции «самонесущих» маховиков переменной инертности тоже были признаны изобретениями.

### Без вариатора — не обойтись!

Как мне казалось, мои изобретения — «магнитофонный» привод и «мягкий» супермаховик — позволяют использовать неудобную, «падающую» характеристику вращения маховика для большинства практических целей. Однако это было не так. Как ни огорчали меня дальнейшие размышления, как я ни гнал от себя их неутешительные итоги, от правды никуда не денешься... И «магнитофонный» привод и «мягкий» супермаховик лишь частично решают проблему отбора мощности в «энергетической капсуле». Ну, посудите сами, насколько часто встречаются случаи, когда автомобиль, трамвай или другое транспортное средство должны разгоняться и тормозить только по одному, заранее заданному закону. Старушка перебегает дорогу — а ты можешь двигаться только по одному закону, не всегда совместимому с жизнью старушки!

Для всякого рода устройств-автоматов, работающих от маховика, «магнитофонный» привод — пожалуй, то что надо. Но только не для реального, сегодняшнего «свободолюбивого» транспорта! Да и «мягкие» супермаховики — тоже не панацея. Оказалось, что они «работают» только тогда, когда обороты выходного вала близки к оборотам обода самого супермаховика. Эти обороты, или, правильнее, частота вращения выходного вала, могут быть не более чем вдвое выше или ниже частоты вращения обода супермаховика. Для маневров это неплохо, а как машине трогаться с места или тормозить до полной остановки?

И я понял, что для «энергетической капсулы», для успешного отбора энергии у нее жизненно необходим вариатор. Кто не знает, что это такое, скажу — это механизм, меняющий передаточное отношение,



вроде коробки передач, но без ступеней. Вращение выходного вала в вариаторе изменяется плавно — бесступенчато. Во сколько раз снижается частота его вращения, во столько же раз повышается крутящий момент. Если же частота вращения растет, то крутящий момент пропорционально снижается. А мощность, равная произведению этих параметров, остается постоянной.

Вроде бы электро- и гидроприводы обеспечивают то же самое, но, оказывается, не совсем. Не вдаюсь в специфику работы этих достаточно сложных устройств, хочу только напомнить, что, если вид или форма энергии преобразуется при ее передаче, то непременно страдает КПД. Этот «налог» на преобразование энергии нельзя обойти никакими путями. Поэтому лучше, если энергия имеется в виде вращения вала, и исполнительному органу эта энергия нужна тоже в виде вращения, например колеса, то лучше «по дороге» не преобразовывать ее в поток электронов или жидкости. Если, конечно, вам не жаль потерять или, точнее, перевести в никому не нужное тепло добрую часть этой энергии.

И возникает еще одна проблема, не сразу заметная, особенно неспециалисту. Допустим, двигатель автомобиля имеет мощность 100 кВт — обычную мощность среднего легкового автомобиля. Для применения электропривода нам понадобится генератор, соединенный с валом этого двигателя или маховика — накопителя, выполняющего его роль. Конечно, наличие генератора ведет к утяжелению привода и понижению его КПД, зато генератор имеет ту же мощность, что и двигатель автомобиля — и это уже неплохо. Но для вращения колес автомобиля с электроприводом нужен еще тяговый двигатель. И как вы думаете, на какую мощность он должен быть рассчитан? Не ошибитесь — только не на 100 кВт, как генератор! Особенно, если автомобиль приводится в движение не двигателем, а маховиком.

Решим, во сколько раз мы хотим изменить скорость автомобиля то есть частоту вращения его колес? Допустим, в 20 раз — с 10 до 200 км/ч, и это очень типичные условия движения автомобиля. Соответственно, во столько же раз должен измениться и крутящий момент. И если при 200 км/ч этот момент таков, что обеспечивает 100 кВт мощности, то при 10 км/ч и той же мощности он будет в 20 раз больше. Если иметь в виду, что размеры и масса электродвигателя почти целиком зависят от крутящего момента, то это повышение момента эквивалентно повышению мощности тоже в 20 раз. То есть по массе и габаритам наш тяговый двигатель будет аналогичен двигателю в 2000 кВт! Чтобы такой двигатель работал нормально, его потребуется оснастить соответствующей по мощности системой частотного регулирования, а также другими, отвечающими ему по массе и габаритам, необходимыми агрегатами.



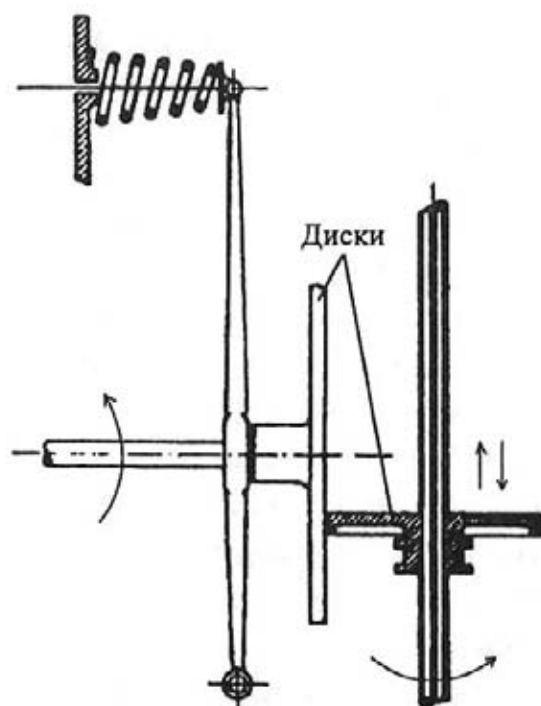
Но вариатор — это не обычная ступенчатая коробка передач. Это — хитрый механизм, и самое неприятное состоит в том, что вариаторов с высоким КПД и нужным нам диапазоном регулирования в 20 раз и более просто не существует! Но ведь и супермаховиков-то раньше не существовало, а еще пораньше — и автомобилей вообще! И все это создавали мы, люди. Но если я сумел изобрести супермаховик, то почему бы мне не придумать «супервариатор» с нужными параметрами!

И я решил в очередной раз попробовать...

## Тайны вариаторов

Я снова сел за книги. Изобретать нечто совершенно новое и фантастическое можно тогда, когда никто ничего в этой области не делал. В области же вариаторостроения уже давно велись активные и плодотворные работы. Мне нужно было только выбрать наилучшую модель, взять ее за основу и усовершенствовать до получения требуемых результатов. Поэтому, сев за книги, я прежде всего хотел понять: какая модель вариатора самая перспективная применительно к той задаче, которую я поставил перед собой. К этому времени у меня уже был кое-какой технический опыт, я относился к своему выбору достаточно критично.

Говоря о вариаторах, трудно удержаться и не рассказать об их истории, устройстве и принципе действия. Ведь они так необычны и сказочно интересны!



Лобовой вариатор, который использовался в первых моделях легковых автомобилей

Принцип действия вариатора легче всего пояснить на примере самой первой, самой простой, но отнюдь не самой лучшей модели. Называется она «лобовым» вариатором, потому что здесь два катка-диска прижаты друг к другу как бы «лбами». Если большой диск вращается от мотора или маховика с постоянной скоростью, то скорость малого диска зависит от его положения на оси. В крайнем положении эта скорость максимальна; с приближением к центру большого диска она падает, и в самом центре большого диска малый вообще останавливается; с переходом малого диска на другую сторону от центра большого, он начинает вращаться уже в обратном направлении, причем тем быстрее, чем дальше он отходит от центра.



Казалось бы, идеальная передача для привода колес автомобиля — что от двигателя, что от маховика. Да этот вариатор и применялся как раз на автомобилях первых выпусков. При этом большой диск связывался с двигателем, а малый — с колесами автомобиля, разумеется, через понижающий редуктор. Диапазон регулирования такого вариатора теоретически бесконечен: колеса автомобиля от неподвижного положения (малый диск в центре большого) способны вращаться до максимальной скорости как вперед, так и назад (малый диск на одном или другом краю большого).

Но одним диапазоном, как говорится, сыт не будешь; остальное — сплошные недостатки. Вот самые основные из них:

— вся мощность передается только одним контактом большого и малого дисков, но одним контактом большой мощности не передашь, поэтому для наших 100 кВт понадобится не вариатор, а монстр, свыше тонны массой;

— диски надо сильно прижимать друг к другу, чтобы передать трением хоть какое-то усилие, при этом все подшипники дисков нагружены большими силами; нажим дисков не регулируется — он рассчитан на максимальную мощность, и зона контакта сильно изнашивается; если же диски смазывать, коэффициент трения падает, и прижим надо еще многократно увеличивать.

Все! Такой вариатор мне и даром не нужен! Еще бы, ведь его разработка относится к допотопным временам — ему не менее 100 лет!

Ремённые вариаторы, которые достаточно широко применяются в автомобилях, мне тоже не подошли. Уж очень мал диапазон регулирования — раза в четыре меньше, чем требуется, КПД их тоже не блестящий. И «обсосаны» они конструктивно настолько, что ничего нового тут уже не придумаешь. Да и идея — тоже устарелая, довоенная по крайней мере.

Попадались мне и такие «заумные» устройства вариаторов, разобраться в которых, пожалуй, и сам автор во второй раз не смог бы! Нет, правильно сказал украинский философ Григорий Сковорода: «Слава Создателю, сделавшему все ненужное трудным, а трудное — ненужным!» Школьникам и студентам это изречение по душе, да и мне в данном случае оно понравилось: мудрить можно, но до определенного предела! Не философией же занимаемся, а реальными «железками»...

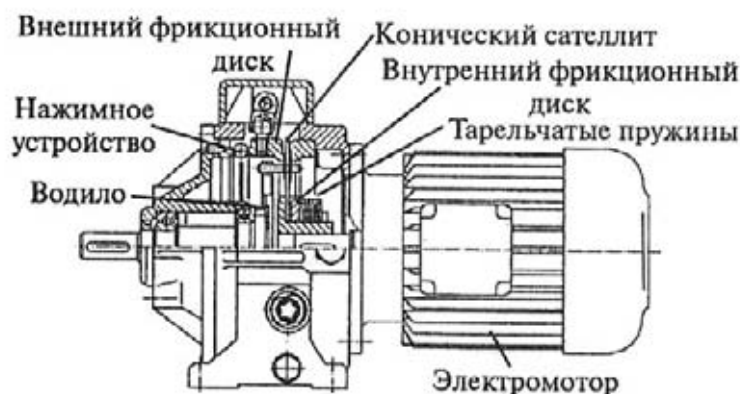
И тут в хранилищах Патентной библиотеки мне на глаза попался патент на вариатор одной австралийской фирмы, занимавшейся изысканиями в области «умных» механизмов. Я аж оторопел от удачи — тут же уловил замысел изобретателей, и во мне разыграл охотничий азарт. Патент-то был середины 70-х годов, и срок его действия подходил к концу. Стало быть, использовать его можно бесплатно.



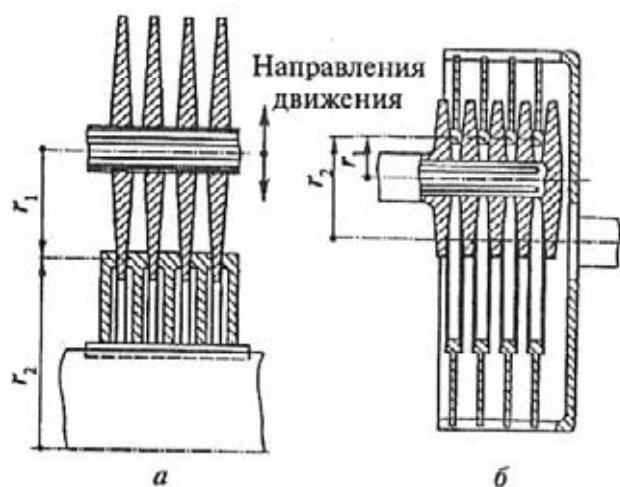
Я навел справки и узнал, что такой вариатор до сих пор с успехом выпускает солидная германская фирма «Ленце» и продает его в десятки стран мира. Не вариатор, а конфетка!

«Попались, — думаю, — голубчики! Вот мне и прототип для работы — я из этого вариатора сделаю то, что мне нужно, но патент уже будет моим!»

Вариатор фирмы «Ленце» стоит того, чтобы о нем рассказать. В нем устранены почти все недостатки лобового вариатора. Прежде всего,



Вариатор завода «Ленце» (Германия) в исполнении мотор-вариатора



Баеровский контакт конических дисков с внутренними (а) и с внешними (б) фрикционными дисками ( $r_1$  и  $r_2$  — радиусы контактов)

тов зажим их между внешними и внутренними дисками силой в несколько тонн не дает ощутимой нагрузки на центральные подшипники — это огромное преимущество!

Контакт сателлитов с дисками — так называемый баеровский, по имени изобретателя — хитроумного немецкого инженера Баера, позволяет развивать огромные нажимные усилия в зонах контакта. Вся рабочая часть вариатора плоская, как блин или диск, поэтому и называется вариатор дисковым.

он выполнен по так называемой планетарной схеме. Между внутренними центральными дисками, выполненными с торообразными, как у бублика, рабочими поверхностями, зажаты шесть конических дисков-сателлитов, подвижно закрепленных осями на водиле. Эти же сателлиты зажаты и между внешними центральными дисками, имеющими такую же торовую рабочую поверхность. Таким образом, сателлиты контактируют одновременно и с внешними, и с внутренними центральными дисками, причем с каждым в 12-ти точках. Итого — 24 точки контактов, это вам не одна точка, как в лобовом вариаторе! Следовательно, во столько же раз возрастает мощность вариаторов. Из-за малого угла конусности сателлитов



Зачем же было выполнять дисковый вариатор по такой, с первого взгляда сложной, планетарной схеме? Кто знаком с планетарными передачами, тот понимает, почему они чрезвычайно прочные — там усилие и моменты воспринимают все сателлиты — в данном случае их шесть. Таким образом, передача по планетарной схеме почти в шесть раз прочнее, чем тех же размеров обычная, непланетарная. Но и это не все. Планетарная схема позволяет резко повысить КПД механизма. Вот как это происходит.



Планетарная схема дискового вариатора

Энергия в механических передачах «теряется» при обкате, провороте одной детали о другую. При этом чуть-чуть сминается металл, сдавливается смазка, нагружаются подшипники. А если эти детали, в данном случае диски вариатора, сделать неподвижными относительно друг друга, тогда и потерь не будет, и КПД — 100%! Но можно ли этого добиться при работе передач? В обычных передачах — нет, а в планетарных, при передаточном отношении, равном единице, весь механизм крутится как один кусок железа, и КПД — 100%. Если передаточное отношение близко к единице, то КПД достигает почти 100%. И только на больших передаточных отношениях, допустим, равных 10–12, планетарная передача приближается по КПД, заметьте, только приближается, к непланетарной. Но ведь все водители знают, что движение автомобиля по шоссе как раз и происходит при передаточном отношении коробки передач, равном единице или близком к ней значению! Высочайший КПД — вот еще одно преимущество планетарной схемы.

И наконец — смазка вариатора. Казалось бы, из-за смазки падает коэффициент трения, и она только вредит фрикционным вариаторам, передающим усилие трением. Но весь фокус в том, что при быстром, кратковременном и сильном сдавливании смазка, особенно специальная, «стекленеет» и начинает передавать большие усилия. Коэффициент трения как бы повышается, вместо того чтобы падать! Это чудо называется эффектом Баруса. К тому же такая «остекленевшая» смазка не позволяет дискам касаться друг друга и изнашиваться. Долговечность таких дисковых вариаторов огромна.



Я так расхвалил вариатор «Ленце», что, казалось бы, — чего их еще совершенствовать: признавай заслуги немцев и нечего модернизировать явно хорошую вещь.

«За модернизацию — расстрел!» — так во время войны пошутил однажды Сталин в разговоре с конструкторами, получившими секретные чертежи новейшего немецкого самолета и тут же надумавшими его модернизировать.

Но замечательный вариатор «Ленце» не годится для привода автомобиля, да еще от маховика. Иначе умелые немцы давно бы приспособили его для этих целей!

### Как удалось «подковать» немецкий вариатор

В чем же пороки столь привлекательного планетарного вариатора, что его даже нельзя использовать на автомобиле?

Прежде всего — передаточное отношение в этом вариаторе изменяется, я бы сказал, варварским способом. Внешние неподвижные диски прижимаются друг к другу наподобие шарикового домкрата: они сдавливают конические сателлиты, и те сдвигаются к центру, разжимая прижатые пружиной внутренние диски. Меняются радиусы касания дисков с сателлитами и меняется передаточное отношение, в данном случае оно понижается — выходной вал, соединенный с водилом, начинает вращаться быстрее. Если разжать домкрат, — сателлиты под действием пружин «разъедутся» на периферию и передаточное отношение увеличится. Двигатель же вращает внутренние диски вариатора, считаем, с постоянной скоростью.

Так вот это «варварское» сжатие домкратом внешних дисков создает «пережим» в зонах контакта в 30—40 раз больший по сравнению с необходимым нажимом. Старик Баер сошел бы с ума, если бы узнал, как беспардонно перегружают его хитроумный контакт! Сильно снижается КПД, падает долговечность. Да и длится этот перевод дисков из одного положения в другое минуты две. Водитель озверевает, если его заставить две минуты переключать передачу, да еще на ходу. Нет, не ожидал я от вдумчивых немцев такого упущения, придется исправлять!

Далее — шесть сателлитов просто невозможно зажать дисками равномерно. Обычно только три сателлита зажаты как следует, а остальные — недожаты. А это тоже плохо!

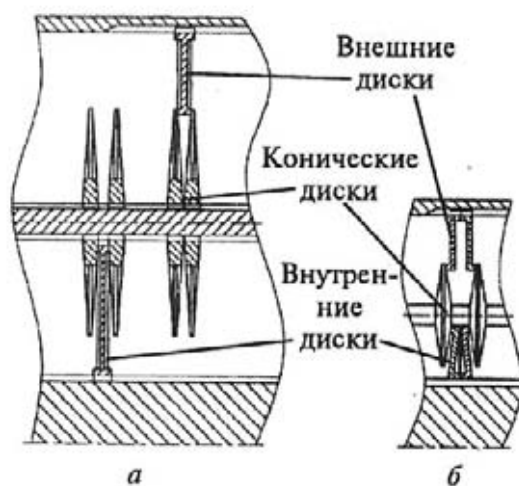
Будем критиковать немцев и дальше? А вообще, причем тут немцы? Они купили патент у австралийцев, вот эти последние, выходит, и виноваты! Но мне одинаково неловко ругать и немцев, и австралийцев — ведь работаю, причем тесно, я и с теми и с другими!



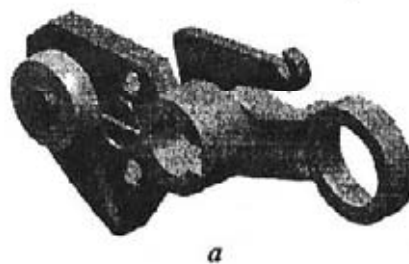
Но, хоть и друзья мне и те и другие, однако истина дороже! Маловато это — один ряд сателлитов, пусть даже шесть их в этом ряду. Вот бы четыре-пять рядов устроить, тогда во столько же раз и мощность возросла бы почти при тех же размерах. Ан нет! При движении сателлитов внешние диски, допустим, раздвигаются, а внутренние — сдвигаются! Как тут добавить ряды, если получается, что один и тот же диск должен иметь разную толщину при перемещении сателлитов.

Вот тут-то и было создано изобретение, еще раз построенное на суперсуммарном эффекте. И внешние, и внутренние диски я выполнил как бы из двух тонких половинок, установленных на валу с зазором миллиметра в два-три между ними. Как раз на тот осевой ход, на который отождут их радиально перемещающиеся конические сателлиты. Сами диски сделаны из прочной упругой стали, что придает им свойства дисковых пружин. А для перемещения сателлитов сделан несложный привод из рычагов и криволинейных направляющих. И рычаги, и направляющие соединены с вращающимся водилом и сателлитами, тоже вращающимися. И поэтому управлять ими нужно дистанционно, например с помощью пневмоцилиндров, что в общем несложно и технически легко исполнимо. Но вы даже представить себе не можете, сколько суперсуммарных эффектов при этом получилось!

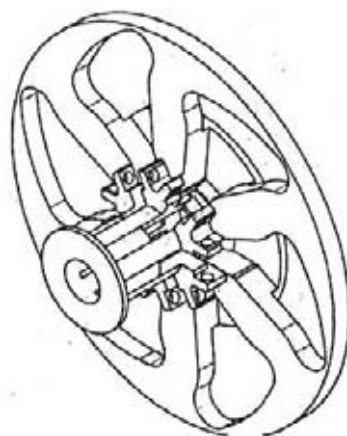
Первый — благодаря упругим податливым дискам можно устанавли-



Традиционная (а) и новая (б) схемы планетарного фрикционного вариатора; видно, что в новой схеме внешние и внутренние диски, состоящие из двух половинок («разрезные»), податливы; размеры конструкций соответствуют одной и той же передаваемой мощности



а



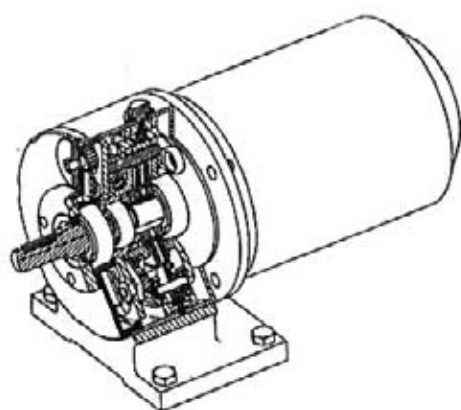
б

Рычаг (а) и криволинейные направляющие для каждого из шести рычагов в виде фасонных прорезей в диске (б) из деталей реального вариатора



вать больше рядов сателлитов (обычно четыре), многократно повышая мощность вариатора. Второй — так как сателлиты, независимо прижимаемые упругими дисками, перемещаются не выдавливанием их домкратом, а рычагами, — нажим удалось сделать равномерным и оптимальным, причем уже не для 24, а для всех 96 рабочих контактов. А это ведет к существенному повышению КПД и долговечности вариатора.

И совершенно неожиданно буквально «выплыл» еще один, как оказалось, важнейший суперсуммарный эффект. Чем больший крутящий момент передает вариатор, тем большие усилия испытывает устройство, изменяющее в сателлитах передаточное отношение, то есть сильнее приходится давить на рычаг, переводящий эти сателлиты.



Новый адаптивный вариатор  
в исполнении мотор-вариатора

Пунктуальный человек поставил бы туда опять же домкрат и на этом успокоился. Но я нагрузил рычаг пружиной, и это дало фантастический результат! Момент на валу увеличился, рычаг растягивал пружину и перемещался сам, перемещая сателлиты в то самое положение, которое требовалось для создания нужного передаточного отношения. Вариатор стал автоматом, или, как еще говорят, приобрел свойство адаптивности. Он повел себя как автоматическая коробка передач на автомобиле. Увеличивается

сопротивление движению, допустим, на подъеме — рычаг растягивает пружину, перемещает сателлиты, повышая передаточное отношение, и автомобиль начинает ехать медленнее, развивая большую тягу. Кончился подъем — сателлиты сами возвращаются на прежнее место, и скорость машины возрастает. Мечта автомобилиста, да и только!

Добавлю, что пружина, конечно, была заменена пневмоцилиндром, благодаря которому можно создавать различное давление и обеспечивать любой режим движения автомобиля. Небольшой опытный образец моего адаптивного вариатора, изготовленный и испытанный на знаменитом автозаводе «ЗИЛ», подтвердил все заложенные в него свойства. Причем сработал он с первого же раза, без доделок и доводок, что поразило моих помощников.

Надо срочно патентовать, на это нужны деньги, а у меня их тогда не оказалось. Пришлось обращаться к зарубежным друзьям. Вот и начали патентовать мы на паях вариатор в Германии, Англии, Франции, Италии, Швеции, Венгрии и даже Белоруссии. Это в Европе. А кроме того — в США и Китае. Япония слишком уж дорого берет за патент да и «обходить» эти патенты умеет мастерски, вот и не стали мы с ней иметь дело. А российские патенты получил я сам: тут много платить не надо.



Теперь предстоит задача потруднее — реализовать адаптивный вариатор на автомобилях. Но это, оказывается, совсем не так просто — требуются еще деньги. А кроме того, нужно преодолеть сопротивление фирм, уже выпускающих автоматические, в том числе и вариаторные, коробки передач для автомобилей. Фирмы эти вложили в свои проекты немалые деньги и теперь ждут, когда эти деньги вернутся с прибылью. А тут является «дядя Вася» со своим вариатором и хочет нарушить с таким трудом достигнутый статус-кво. Тем более «дядя» этот из России, которая постоянно выкидывает свои нехорошие штучки!

## Супервариатор

Вы заметили, что я ни разу не назвал вариатор, который так расхваливал, «супервариатором». Несмотря на то, что у него масса суперсуммарных эффектов и что адаптивных фрикционных вариаторов ранее в технике просто не существовало. Нет, вариатор хороший, лучше имеющихся сегодня на автомобилях.

Но скоро я понял, что «для полного счастья» мой вариатор не подходит — нужен новый, с «суперкачествами», совершенно особый, одним словом, настоящий «супервариатор».

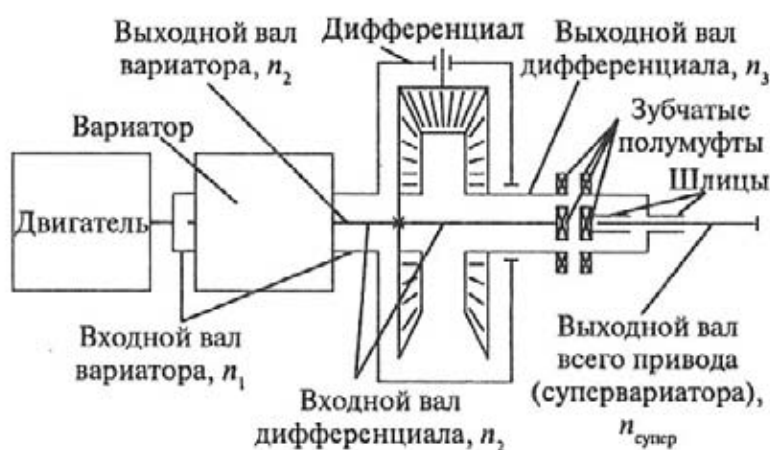
Так чем же не устроил меня прежний вариатор, что потребовалось теперь изобретать супервариатор? А тем, что хоть он и хороший, лучше имеющихся, но не «супер». Например, диапазон регулирования  $D = 8$ , ну, от силы  $D = 10$ , а нужен для приводов с маховиками, как я уже говорил,  $D$  около 20. КПД неплохой: при передаточном отношении 1,3 достигает 0,95, правда, при больших значениях передаточного отношения КПД снижается. А ведь для приводов с маховиками желательно больше. Минимальное передаточное отношение  $i_{\min} = 1,3$ , хотя для автомобилей, как хорошо знают водители, желательно меньше единицы — 0,6–0,7.

И вот как-то пришла в голову такая мысль. Разгоняем, допустим, мы автомобиль вариатором, понижая передаточное отношение от  $i_{\max}$  до  $i_{\min}$  — 10; 8; 5; 2; 1,3. Все, больше вариатору делать нечего, меньшее передаточное отношение дать он не может. Максимальный диапазон регулирования  $D = i_{\max} / i_{\min} = 10 / 1,3 \approx 7,7$ . А что если попробовать преобразовать повышение передаточного отношения снова в его понижение, то есть в дальнейший разгон автомобиля? На первый взгляд, задача фантастическая, нереальная, но посмотрим, нет ли в технике подтверждающих эту идею примеров?

Проведем несложный эксперимент: поддомкратим автомобиль так, чтобы «вывесились» его ведущие колеса, и пустим двигатель работать на холостом ходу, поставив в коробке первую передачу. Отпустим сцепление и понаблюдаем за колесами. Они будут вращаться, причем с равной скоростью. А теперь попробуем замедлить вращение одного колеса, например,



тормозя его чем-нибудь. Мы заметим, что второе колесо ускорит свое вращение. Остановив полностью первое колесо, мы ускорим вращение второго ровно вдвое. Почему же это происходит? Да потому, что колеса автомобиля связаны между собой особым механизмом, называемым дифференциалом. Многие из читателей, особенно автомобилисты, хорошо знают, как он устроен. Выпускается этот механизм миллионами, он общедоступен, иные автомобили имеют сразу несколько таких дифференциалов.



Схема, поясняющая принцип работы супервариатора на основе вариатора и автомобильного дифференциала. Здесь:  $n_1$  — частота вращения двигателя и входного вала вариатора;  $n_2$  — частота вращения выходного вала вариатора;  $n_3$  — частота вращения выходного вала дифференциала;  $n_{\text{супер}}$  — частота вращения выходного вала всего привода (супервариатора);  $i_{\text{вар}} = n_1/n_2$  — передаточное отношение вариатора;  $i_{\text{супер}} = n_1/n_{\text{супер}}$  — передаточное отношение супервариатора. Начало режима: выходной вал вариатора соединен с выходным валом привода (супервариатора):  $i_{\text{вар}} = 10$ ;  $i_{\text{супер}} = 10$ ;  $n_2 = n_{\text{супер}} = 0,1n_1$ . Середина режима: выходной вал привода (супервариатора) кратковременно соединен с выходными валами вариатора и дифференциала:  $i_{\text{вар}} = i_{\text{супер}} = 1$ ;  $n_1 = n_2 = n_3 = n_{\text{супер}}$  (разрыва потока мощности нет). Конец режима: выходной вал привода (супервариатора) соединен с выходным валом дифференциала и отсоединен от выходного вала вариатора:  $n_3 = n_{\text{супер}} = 1,9n_1$ ;  $n_2 = 0,1n_1$ ;  $i_{\text{вар}} = 10$ ;  $i_{\text{супер}} = 0,526$ . Диапазон регулирования супервариатора:  $D = i_{\text{вар}}/i_{\text{супер}} = 19$

колесами были связаны вал вариатора, или, что одно и то же, входной вал дифференциала. Когда частоты вращения валов дифференциала станут одинаковыми, то безразлично, какой из них окажется подключенным к колесам автомобиля, можно даже соединить с ними сразу оба этих вала. Это очень ценно, так как не будет разрыва в трансмиссии, что происходит, например, при переключении передач автомобиля. Понижение скорости автомобиля осуществляется аналогично, только в обратном порядке.

Так вот, достаточно включить дифференциал в конструкцию вариатора, и мы сможем преобразовывать, как в описанном опыте с автомобилем, понижение частоты вращения одного вала в повышение частоты вращения другого. Если подключить этот дифференциал в тот момент, когда вариатор дойдет до своего минимального передаточного отношения, допустим, 1,3, то частоты вращения входного и выходного валов дифференциала станут одинаковыми. Но стоит нам увеличить передаточное отношение вариатора, как выходной вал дифференциала начнет убыстряться, соединяясь с ведущими колесами автомобиля, хотя в начале движения с ведущими ко-



Конечно же, дифференциал я применил здесь не совсем автомобильный, без присущих ему конических зубчаток, но принцип остался тот же. В результате диапазон регулирования увеличился до 20–25, и почему это произошло — очевидно. Ведь используются оба рабочих хода управления вариатором — и на понижение, и на повышение передаточного отношения, а идут оба этих хода или только на понижение, или только на повышение данного отношения. Но, казалось бы, произошло невероятное — кроме диапазона повысился и КПД устройства! Во всех пособиях и учебниках, где речь идет о вариаторах, написано, что КПД с увеличением диапазона падает, и наоборот. В чем же дело, почему здесь законы механики не срабатывают?

Нет, они срабатывают, но только в нужном нам направлении. Давайте проследим, что же происходит, когда мы подключаем дифференциал и начинаем повышать передаточное отношение вариатора. Выходной вал дифференциала, соединенный с колесами, вращается все быстрее, а ведь вал вариатора замедляется, через него проходит все меньшая мощность, меньше и потеря энергии. И все бо́льшая мощность проходит на колеса непосредственно от двигателя или маховика, минуя вариатор, а следовательно, уменьшаются и потери. Если бы вариатор остановился совсем, КПД всего устройства был бы равен практически единице, но вариатор все-таки вращается, хотя и еле-еле, вот и КПД не единица, а 0,99! Подсчет показывает, что в среднем, при наиболее употребительных режимах движения автомобиля, например, на шоссе, КПД нового устройства 0,97–0,99. Да таких показателей просто принципиально не может быть не только ни у одного из существующих вариаторов, но и у любых других типов бесступенчатых передач!

Вот почему, подавая международную заявку на изобретение, ничуть не колеблясь, я назвал его «супервариатор». Инвестором моим выступила германская энергетическая компания «Планбау».

Итак, теперь, кажется, есть все для осуществления моей мечты — создания «энергетической капсулы». Есть супермаховик, способный накапливать в единице массы огромную энергию, есть магнитная подвеска, способная при минимальном техобслуживании в течение многих лет выдерживать вращение супермаховика с ничтожными потерями, есть системы вывода вращения из вакуумной камеры, где обязательно должен «обитать» вращающийся с бешеной скоростью супермаховик. И уже есть, наконец, супервариатор, позволяющий получить из неудобной «падающей» характеристики вращения супермаховика любой закон движения машины, какой только ни пожелает потребитель. Теперь осталась самая малость — «внедрить» мою «энергетическую капсулу» в реальные машины!



# «КАПСУЛУ» – В УПРЯЖКУ!



## Легко сказка сказывается...

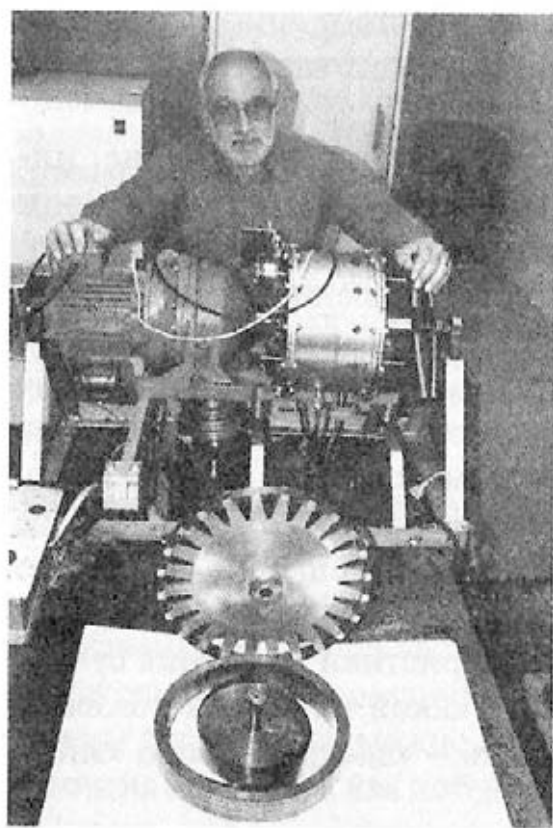
*Автор, размышляя о будущем «энергетической капсулы», с удовлетворением отмечает, что уже сейчас она приносит людям немалую пользу...*

## Небольшая экскурсия в молодость

Как быстро пролетело время! Еще пятнадцатилетним юношей я принялся за поиск «энергетической капсулы», а сегодня мне уже страшно сказать сколько. Прошло полвека, пятьдесят лет непрерывной работы, но задача создания «энергетической капсулы», пожалуй, только сейчас встала передо мной во всей своей грандиозности. Энергия и топливо стали как никогда дорогими, экология – глобальной проблемой, запасание энергии впрок – насущной жизненной

потребностью человека. Тем более, появились новые перспективные материалы, которые могут радикально улучшить показатели супермаховиков, его магнитной подвески и других сопутствующих устройств.

Я не изменил своей мечте – все, что сделано и достигнуто мною, так или иначе связано с ней. К двадцати годам – первые изобретения, научные статьи, модели; к двадцати пяти – степень кандидата наук, первые опытные машины с маховиками, идея супермаховика; к тридцати пяти – докторская степень, звание профессора, должность заведующего кафедрой. И сейчас – новые книги, новые изобретения, новые машины. Меня выбрали академиком одной из международных



Автор со своими «железками» сегодня



академий, связанной с экологией. У меня появилось много молодых и талантливых учеников, страстно увлеченных своим делом. И это самое приятное.

Не я один мечтал об «энергетической капсуле», не для меня одного она стала целью в жизни. Много из того, о чем я думал, о чем писал, волновало и других людей, в других странах, причем приблизительно в одно и то же время. Вначале это поражало меня, особенно когда я узнал, что американские ученые почти одновременно со мной пришли к такой же идее супермаховика. Но потом, по мере того как число сообщений о похожих разработках и экспериментах росло, я удивлялся все меньше и даже не огорчился — напротив, это давало мне уверенность, что если одни и те же решения приходят к разным людям, живущим в разных полушариях Земли, то, наверное, эти решения верные.

И все же понадобились годы опытов, множество доказательств, сотни выступлений для того, чтобы преодолеть предубеждение скептиков, чтобы в «энергетическую капсулу» поверили.

Помню, когда в 1965 году в журнале «Изобретатель и рационализатор» я рассказал о своих новых изобретениях — вращающихся в вакууме супермаховиках из лент, проволок и сверхпрочных волокон, да еще с магнитной подвеской, многие говорили, что этого не может быть.

Я называл количество энергии, которое сможет накопить такой супермаховик, — «серьезные» люди заявляли, что данная величина завышена в 100 раз.

Мне доказывали, что маховик прокрутится несколько минут и остановится. Приходилось показывать маховик с магнитной подвеской, где за час терялось всего несколько оборотов в минуту.

Убеждали, что, разрываясь, маховик пробивает метровые стены — я демонстрировал фотографию разорванного супермаховика в целехоньком кожухе, который был не чем иным, как большой жестяной банкой из-под килек.

Утверждали, что для ленточной передачи маховичного автобуса потребуется лента с рессору толщиной — я клал на стол тоненькую стальную ленточку, из которой делают лезвия для безопасных бритв. Она была отрезана от той самой передачи...

Меньше всего, оказывается, убеждают цифры, формулы, математические доказательства. А вот опыты, фотографии, кино- и видеосъемки действуют неотразимо, хотя они и не всегда бывают достоверны.

Сейчас уже достоинства супермаховиков признаны почти всеми специалистами. Во много раз увеличилось число научных трудов, посвященных им, значительно возросло количество связанных с ними изобретений. Специалисты считают супермаховики одним из наиболее перспективных видов накопителей энергии среди всех известных



ныне и прочат им блестящее будущее. Вариаторы, правда, пока не «супер», все шире используются в автомобилестроении.

Американские ученые подсчитали, что массовое внедрение в соответствующие отрасли национальной экономики эффективных накопителей энергии, которые я назвал для себя «энергетической капсулой», позволит ежегодно сокращать расходы в размере многих миллиардов долларов. Думается, немалый выигрыш может быть получен и у нас в стране.

Но главное, что получит человек от внедрения «энергетической капсулы», — это возможность действительно по-хозяйски, бережно использовать «Ее Величество Энергию» — бесценный дар природы, синоним которого сама «Жизнь».

## Работает супермаховик

Есть ли уже сегодня машины, на которых установлены супермаховики? Да, есть. Пусть эти машины и не выпускаются пока сериями, как «жигули» или «фольксваген», но они существуют. Работают, ездят, всех удивляют.



Маховичный автомобиль (махомобиль)  
Дэвида Рабенхорста

Самым типичным автомобилем, работающим за счет энергии супермаховика, является, пожалуй, маленький двухместный «махомобиль» американского ученого Дэвида Рабенхорста. Попробуем на его примере разобраться в устройстве махомобилей.

Супермаховик махомобиля соединен с валом разгонного электродвигателя, причем электродвигатель размещен в воздушной среде, чтобы он лучше охлаждался, а супермаховик — в вакууме, чтобы не было лишних потерь энергии. На выходе из вакуумной камеры вал герметизирован магнитным уплотнением. В принципе можно даже разрезать вал и вывести вращение из вакуума специальными магнитными муфтами.

Другой конец вала супермаховика соединен с гидронасосом обратимого типа, который может работать и в режиме гидродвигателя; о таких гидромашинах я уже говорил. Жидкость — масло от гидронасоса через распределитель или, что одно и то же, через механизм управления махомобилем, подается в четыре маленькие гидромашины, встроенные в колеса махомобиля. Таким образом, все колеса махомобиля



ведущие, и это очень хорошо — махомобиль быстро разгоняется, движется устойчиво, без заносов.

В махомобиле нет таких привычных автомобильных частей, как сцепление, коробка передач, карданный вал, дифференциал, полуоси, электроаккумуляторы, стартер и генератор; отсутствует топливный бак и вся топливная система, система охлаждения с вентилятором, глушитель и, наконец, сам двигатель внутреннего сгорания. Махомобиль бесшумен, он не загрязняет окружающую среду выхлопными газами, приводится в движение практически мгновенно. Известно, что супермаховик может развивать громадные мощности, так необходимые автомобилям для быстрого разгона.

Зарядка энергией, или разгон супермаховика, производится включением разгонного электродвигателя в сеть. Время зарядки — 20–25 мин, что в десятки раз быстрее по сравнению с продолжительностью зарядки электроаккумуляторов. Для приведения махомобиля в движение повышают наклоном шайбы производительность насоса, и масло начинает поступать в гидродвигатели колес, разгоняя машину. Больше наклон шайбы — больше скорость.

Махомобиль рассчитан на крейсерскую, то есть постоянную скорость 90 км/ч, причем кратковременно скорость может быть значительно увеличена, например для выполнения обгонов.

Путь пробега махомобиля с одной зарядки пока около 60 км, но его планируется увеличить в три раза. Это при массе супермаховика 100 кг, скорости его вращения от 23 700 до 11 900 оборотов в минуту и запасе энергии 24 МДж. Удельная энергия супермаховика составляет 240 кДж/кг. Правда, уже испытаны супермаховики с удельной энергией в 650 и даже 700 кДж/кг, а это значит, что и путь пробега увеличивается почти до 500 км!

У махомобиля рекордно малая по сравнению с электро- и автомобилями стоимость пробега — около доллара на 100 км пути. Я думаю, вряд ли какой водитель откажется от такой машины!

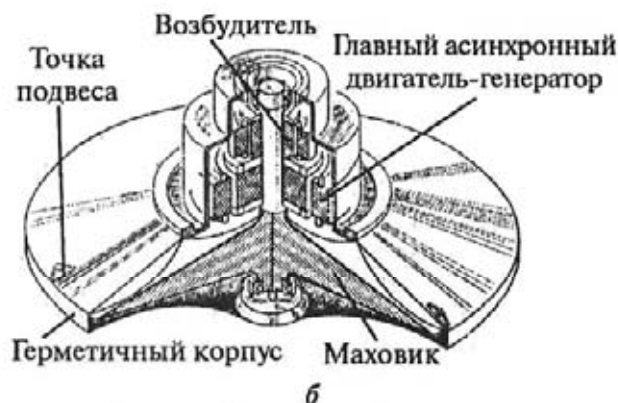
Посмотрим теперь, каковы характеристики агрегатов махомобиля Рабенхорста по мощности и массе. Разгонный электродвигатель мощностью 30–40 кВт — 18,4 кг, гидронасос мощностью 37,5 кВт — 11,4 кг, четыре гидродвигателя колес такой же общей мощности — 10 кг, приборы управления — 9 кг, шасси — 175 кг, кузов — 270 кг. Вместе с супермаховиком, его корпусом, подвеской и даже пассажирами выходит чуть более 600 кг.

Махомобиль не боится длительных стоянок — маховик может вращаться без остановки почти полтора месяца. И это не предел, потому что так называемые кольцевые супермаховики, о которых будет сказано ниже, рассчитаны на более чем годичный выбег, а американский



45-килограммовый маховик в магнитном подвесе имеет столь малые потери, что способен крутиться без остановки свыше 10 лет!

Подвеска супермаховика в махомобиле тоже магнитная, только она практичнее, чем «абсолютный» магнитный подвес: здесь есть подшипники, способные не только принимать на себя усилия при тряске, но и ослаблять гироскопическую нагрузку при повороте оси супермаховика.



Гиротроллейбус фирмы «Локхид» (США) (а) и его маховичный накопитель (б)



Маховичная катапульта

На сегодняшний день в разных странах уже построено много супермаховичных автомобилей и автобусов. Некоторые из них, как и швейцарский гиробус, оснащены штангами и могут двигаться как троллейбус. Но при этом раскручивается и супермаховик, который потом снабжает током тяговые электродвигатели. Такие машины, названные гиротроллейбусами, не тратят время, подобно гиробусу, на раскрутку супермаховика, так как «зарядка» идет на ходу. Затем, после разгона супермаховика, гиротроллейбусы едут на накопленной энергии до конечной остановки через весь город. В отличие от швейцарского гиробуса, маховик в таком гиротроллейбусе весит не 1,5 т, а всего около 300 кг.

Существуют проекты использования супермаховиков в авиации. В одном из них для взлета сверхзвуковых самолетов предлагают применять маховичную катапульту. Если разогнать крупный маховик электродвигателем, а затем подключить его к лебедке, соединенной тросом с самолетом,

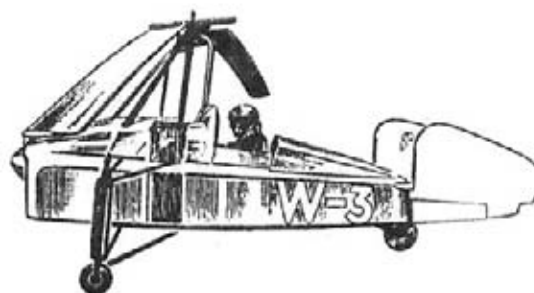
то маховик за несколько секунд разовьет гигантскую мощность, в десятки раз превышающую мощность электродвигателя. За считанные секунды самолет разгонится до 400 км/ч и взлетит. При этом путь разгона будет не более 100–150 м. Такой запуск очень надежен и экономичен.

Двойную пользу можно получить от установки супермаховиков на легких тихоходных самолетах, у которых собственный двигатель



развивает мощность не более 90–120 кВт. Супермаховик массой всего 13 кг способен выдать мощность 115 кВт в течение 20 с, а массой 57 кг — 225 кВт в течение 60 с — время, вполне достаточное для взлета. Кроме того, раскрученный супермаховик обеспечит безопасность экипажа в случае остановки мотора самолета. Энергии, накопленной в супермаховике, хватит для трехминутного полета самолета без мотора. Летчики успеют выбрать пригодную для посадки площадку и приземлиться.

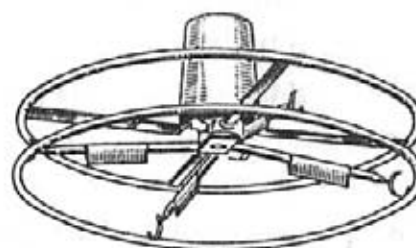
Еще в 30-х годах прошлого века в Шотландии был построен маховичный вертолет. Разгоняли маховик на земле вместе с воздушным винтом, лопастям которого задавали нулевой угол атаки, чтобы разгон шел легче. После разгона маховика лопасти устанавливали под нужным углом, и машина взмывала в небо. Когда энергии в маховике оставалось уже мало, вертолет плавно опускался.



Шотландский маховичный вертолет, прозванный «прыгающий Гиро»

Не правда ли, это очень похоже на игрушечный вертолет, в котором разгон лопастей-маховиков производится пусковым шнурком?

А полвека спустя в США создали разведывательный беспилотный вертолет с супермаховиками. Два легких кольцевых супермаховика диаметром 1,4 м, вращающиеся в разные стороны, раскручивают воздушные винты, расположенные внутри колец супермаховиков. Кольца разгоняют до 4 тыс. оборотов в минуту на специальном автомобиле, с которого вертолет стартует. Вертолет быстро поднимается на 100-метровую высоту, зависает там и, имея на борту фото- и телеаппаратуру, производит съемки или телепередачи. Подобный вертолет удобно использовать и для пожарных работ — его двигатель не заглухнет от дыма, а баки с горючим не загорятся, так как на этом вертолете нет ни двигателя, ни баков.



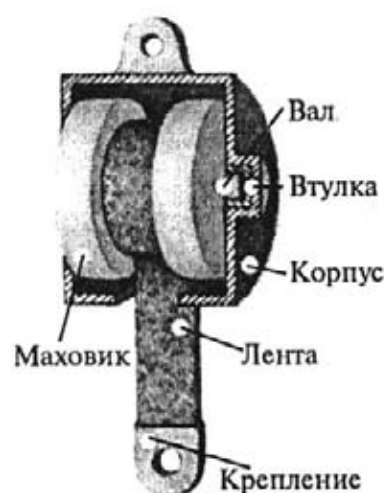
Разведывательный беспилотный маховичный вертолет

Если нужно попасть на борт вертолета, зависшего высоко над землей, или на какую-нибудь площадку на высоте 100 м и более, лучше всего воспользоваться для этого маховичным подъемником, который позволяет поднять девять человек подряд, причем в пять раз быстрее обычных моторных подъемников. Маховик подъемника разгоняется маленьким электродвигателем мощностью 1,5 кВт до 28 тыс. оборотов в минуту.



Осуществить экстренный спуск с того же вертолета или из окна горящего высотного здания поможет маховичный лифт, в разработке которого довелось участвовать и мне. При пожаре нередко требуется срочно эвакуировать людей с верхних этажей дома, но в это время ток от здания, как правило, отключают и никакие подъемные механизмы не работают. Вот и придумали особое устройство для такого случая.

Человек надевает специальный пояс с прикрепленной к нему лентой и прыгает вниз. Лента намотана на валу небольшого маховика или супермаховика, как в ленточном вариаторе, о котором речь шла выше. Сматываясь с вала, она разгоняет маховик, сначала медленно, а затем все сильнее и сильнее. Человек же, наоборот, приближаясь к земле, все больше и больше теряет скорость. И наконец мягко приземляется. Пояс с лентой сам поднимается вверх за счет энергии маховика, раскрученного ранее спустившимся человеком. Так маховичный лифт может доставлять на землю одного за другим сколько угодно людей.



Маховичный лифт

Поистине безграничные возможности открываются перед супермаховиками в космосе. В космическом вакууме у супермаховиков совершенно нет потерь на трение о воздух, а невесомость устраняет нагрузки на подшипники. В этом случае подшипники могут быть простыми «сухосмазывающимися» втулками.

На некоторых спутниках связи уже несколько лет используют супермаховичные накопители энергии. Дело в том, что спутники связи, транслирующие на большие расстояния телефонные разговоры, телепрограммы и радиопередачи, работают обычно не только от солнечных батарей, но и от аккумуляторов энергии, которые дают ток, пока Земля загораживает спутник от Солнца и тот находится в тени. Однако время жизни электрохимических аккумуляторов невелико, они быстро выходят из строя, а из-за них прекращает существование и сам спутник, который мог бы служить еще долго. Вот и пал выбор на долговечные супермаховики. Они вращаются в магнитной подвеске со скоростью 40 тыс. оборотов в минуту. Плотность энергии супермаховиков для спутников связи примерно 0,1 МДж/кг.

В исследовательском центре США создана супермаховичная установка для международной космической станции, превосходящая по своим показателям ранее применявшиеся никель-водородные аккумуляторы. Супермаховик запасает большее количество энергии, а срок его службы вдвое дольше, чем у химических аккумуляторов.



Видимо, не обойтись без супермаховиков и на космических станциях, которые отправятся к далеким планетам, где почти нет солнечного света, дающего энергию для питания электронного оборудования станций. По мнению ученых, кратковременных включений пиропатронов будет вполне достаточно, чтобы с помощью газовой турбины так разогнать супермаховик, что его энергии надолго хватит для бесперебойной работы всех приборов.

В космосе супермаховики необходимы и для более прозаических дел — например, для ремонта станций, приведения в движение механизированного инструмента.

Допустим, космонавту нужно просверлить отверстие или завернуть гайку. Если он применит обыкновенную дрель или гайковерт, то реактивный момент, действующий на корпус ручного инструмента, закрутит в первую очередь самого космонавта. На Земле такого не случается, так как этому противодействует сила тяжести и сила трения, а в условиях невесомости — это обычное явление.

Теперь сделаем следующий опыт. Возьмем самый простой детский волчок — юлу, укрепим на ее кончике сверло, разгоним юлу и уберем руку. На первый взгляд как будто ничего удивительного — юла стоит на сверле и сама сверлит подставку. А ведь ни с какой из обычных дрелей подобный опыт никогда не получится. Даже у электрической дрели корпус тотчас завертится в противоположную сторону и порвет все провода.

Дело в том, что маховики и супермаховики обладают свойством «безреактивности», то есть при вращении они не оказывают реактивного действия на корпус и другие части устройства. Маховик связан с корпусом только подшипниками, а они, свободно проворачиваясь, не передают вращательных усилий.

Изготовленная мною маховичная дрель успешно сверлила любые доски. При этом она прекрасно выдерживала вертикальное направление благодаря еще одному свойству маховика, о котором уже упоминалось, — способности сохранять устойчивое положение свободной оси в пространстве.

Чтобы проверить это свойство самому, лучше всего снять велосипедное колесо с вилки, взяться за концы оси и, держа колесо на вытянутых руках, попросить товарища раскрутить его. Если колесо раскручено как следует, никакие попытки свернуть ось в сторону ни к чему не приведут, даже несмотря на большие усилия. Колесо будет сопротивляться совсем



Маховичная «безреактивная» дрель

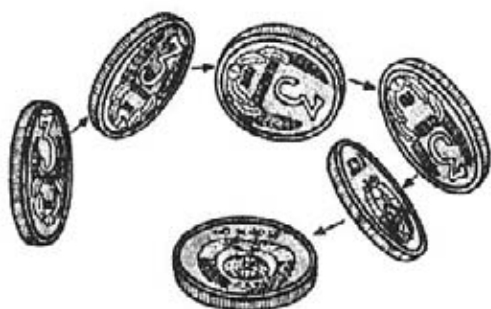


как живое, стараясь вырваться из рук. Суть происходящего состоит в том, что ось вращающего маховика всякий раз стремится повернуться не туда, куда мы прилагаем усилие, а под прямым углом к этому направлению.

Существует много способов узнать, куда будет поворачиваться ось маховика, но все они трудны и рассчитаны на специалистов. Поэтому я придумал для себя способ попроще, который назвал «правилом колеса». Запомнить его ничего не стоит, достаточно иметь в кармане хотя бы одну монетку или колесико. Пустим монетку катиться по столу. Скоро она начнет падать набок, но что для нас особенно важно — она и сворачивать будет в ту же сторону. Теперь представим себе, что монетка — это вращающийся маховик. Допустим, мы пытаемся свернуть ось этого маховика в ту же сторону, куда падает монета. Направление поворота монеты позво-

лит нам определить, куда на самом деле будет сворачивать ось маховика. Вот и все правило.

Если ничто не воздействует на ось маховика, то она безупречно сохраняет свое положение в пространстве. И это делает маховик незаменимым в навигационных приборах, которые сейчас устанавливают на всех кораблях, самолетах, ракетах. Называют такие приборы гироскопическими. Об этих интереснейших приборах много написано, и я не буду подробно останавливаться здесь на них. А вот об автомобиле, в котором был применен как раз гироскопический эффект вращающегося маховика, думаю, сказать надо. Построил этот «гирокар» в 1914 году русский инженер П. П. Шиловский. Гирокар демонстрировался в Лондоне, где вызвал огромный интерес. Еще бы, машина Шиловского имела всего два колеса, как велосипед, однако она сохраняла без каких-либо упоров устойчивое положение, даже если все пассажиры сядили по одну сторону. «Держал»



Опыт с монетой, демонстрирующий гироскопический эффект



а



б

Гирокар П. П. Шиловского (а) и принцип его действия (б)



машину раскрученный маховик благодаря гироскопическому эффекту. В гирокаре использовался примитивный автомат с датчиком наклона в виде шарика в трубке и сервомотором, воздействующим на 300-килограммовый маховик.

Такие автомобили строились и позже. Возможно, что будущий махомобиль с супермаховичной «энергетической капсулой» спроектируют тоже двухколесным, чтобы использовать сразу оба замечательных свойства супермаховика — способность накапливать энергию и сохранять неизменное положение в пространстве.

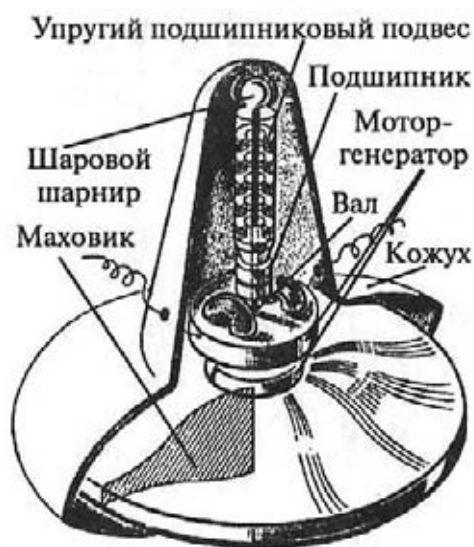
### «Капсула» разрастается

Помните, мы говорили, что ученые разрабатывают проекты гигантских накопителей энергии на основе сверхпроводящих катушек — четверть километра диаметром и 50–70 м высотой. И накапливать они должны десятки миллионов мегаджоулей энергии. Такие накопители нужны для аккумуляции энергии в период ночных недогрузок электростанций и для выделения ее при перегрузках в часы «пик». Наиболее чувствительны к недогрузкам и перегрузкам атомные электростанции, на долю которых с каждым годом приходится все больше и больше вырабатываемой электроэнергии.

А пригодны ли супермаховики для накопления столь огромных количеств энергии и что они будут представлять собой в этом случае?

Применение маховичных накопителей на электростанциях тесно связано с именем известного русского изобретателя-самоучки А. Г. Уфимцева, которого М. Горький назвал «поэтом техники». Изобретения Уфимцева были необычайно широкого диапазона — от керосиновых ламп до самолетов. Тщательно проанализировав различные способы накопления энергии для ветроэлектростанций, в том числе «водородное» и тепловое аккумулярование, он пришел к выводу, что маховичный накопитель подходит для этих целей лучше других.

Первый маховичный аккумулятор был построен А. Г. Уфимцевым в 1920 году из паровозного буфера. Маховик имел массу всего 30 кг и вращался в вакуумной камере, из которой был откачан воздух до давления около 5 гПа (гектопаскаль), совершая 12 тыс. оборотов в минуту. Вывод мощности из камеры осуществлялся электрическим путем с помощью мотор-генератора.



Электромаховичный накопитель  
А. Г. Уфимцева

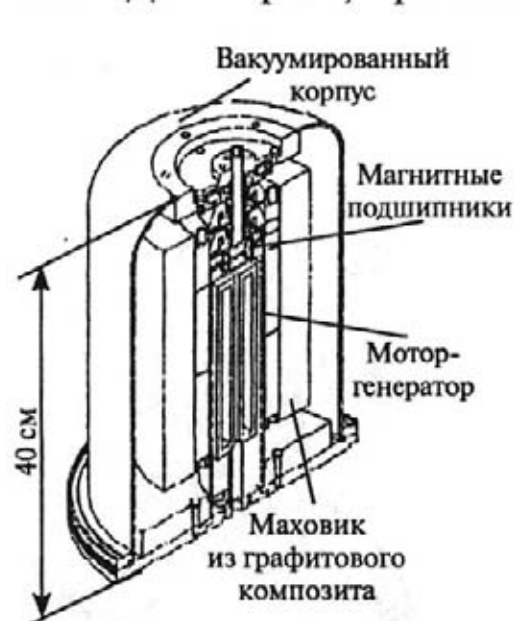


Более крупную модель накопителя с маховиком массой 320 кг А. Г. Уфимцев создал в 1924 году. После зарядки маховик обеспечивал равномерное горение нескольких электроламп по 1000 свечей в течение часа. Этот накопитель Уфимцев применил на ветроэлектростанции, которая существует в городе Курске и сейчас. Все куряне знают «ветряк Уфимцева» на улице Семеновской и гордятся им.

Маховик А. Г. Уфимцева, как и сверхпроводящие накопители, аккумулировал электроэнергию в периоды ее избытка, во время порывов ветра, а затем равномерно распределял ее даже при полном отсутствии ветра. Крутиться он мог без подзарядки около 14 ч.

Идеи одаренного русского самоучки воплощены сегодня во многих маховичных накопителях для электростанций. Например, американский изобретатель Аллан Милнер разработал супермаховичный накопитель для солнечной электростанции. Известно, что солнечный свет, преобразованный в электроэнергию, может питать потребителей только днем, да и то в безоблачную погоду. А для того чтобы использовать эту энергию ночью и в пасмурные дни, ее необходимо предварительно накапливать, и по возможности с минимальными потерями.

Накопитель Милнера состоит из супермаховика диаметром около метра, массой 2 т, вращающегося со скоростью 15 тыс. оборотов в минуту. Супермаховик подвешен на шести магнитных подшипниках, причем подвеска подстрахована обычными шарикоподшипниками. Разгон супермаховика и отбор энергии осуществляются мотор-генератором с постоянными магнитами, наиболее экономичным из известных машин подобного типа. Накопитель аккумулирует почти 150 МДж энергии, при этом потери составляют всего около 12 %.



Малогабаритный супермаховичный накопитель национальной лаборатории «Лауренс-Ливермор» (США)

У такого накопителя плотность энергии в полтора раза выше, чем у свинцово-кислотных аккумуляторов, а долговечность — выше во много раз. К слову, маховичный накопитель подобного типа разрабатываю сейчас и я вместе с германскими коллегами из фирмы SEEBa и университета города Циттау. С помощью данного накопителя немецкая сторона рассчитывает повысить экономичность городского электро транспорта, о чем речь пойдет ниже.

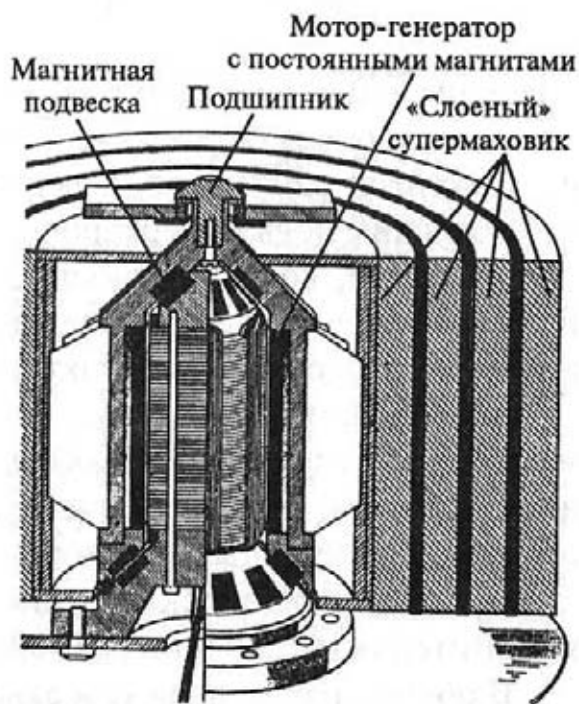
Наиболее современный малогабаритный супермаховичный накопитель разработала знаменитая национальная лаборатория «Лауренс-Ливермор» (США), пожалуй, лучшая лаборатория



в мире военной техники. Накопитель высотой 40 см, объемом 40 л и массой 75 кг содержит супермаховик, навитый из высокопрочного углепластика (графитового волокна со связкой), выдерживающего напряжения в 7 ГПа и обеспечивающего колоссальную плотность энергии — 545 Вт·ч/кг. Супермаховик вращается с максимальной частотой 60 тыс. оборотов в минуту, накапливая энергию до 1 кВт·ч и развивая мощность до 100 кВт. Таким образом, весь агрегат — с корпусом, магнитной подвеской и обратимой электромашиной (мотор-генератором) мощностью в 100 кВт, с супермаховиком и его ступицей — имеет плотность энергии около 14 Вт·ч/кг и плотность мощности — 1,34 кВт/кг. КПД накопителя — около 0,92. Пока этот накопитель — подлинное чудо техники, настоящая «энергетическая капсула», только малогабаритная.

Живут идеи А. Г. Уфимцева и в проекте американского ученого Стивена Поста, который предложил для крупной электростанции гигантский супермаховик, имеющий массу 200 т, диаметр 5 м и развивающий 3500 оборотов в минуту. Такой супермаховик может накопить уже свыше 70 тыс. МДж энергии. Чуть меньшей энергоемкостью обладают маховичные системы для бесперебойного питания, которые уже выводит на рынок фирма AFS Trinity. Эти агрегаты могут объединяться в сети, что повышает общую энергоемкость системы.

Супермаховик Стивена Поста предполагается собрать в виде концентрических колец, навитых из кремниевого волокна и насаженных одно на другое с небольшим зазором, заполненным эластичным веществом, например резиной. Затем его заключат в герметичный корпус и соединят с валом мощного мотор-генератора. Сильная магнитная подвеска разгрузит подшипники от громадной тяжести супермаховика. В случае разрыва супермаховика выделится энергия, равная взрыву тысячи тонн тола, но в момент разрыва корпусу передается не более 1–2 % этой энергии. Остальная энергия будет выделяться достаточно медленно, преобразуясь в тепло. На всякий случай супермаховик все же намечено установить под землей на безопасной глубине.



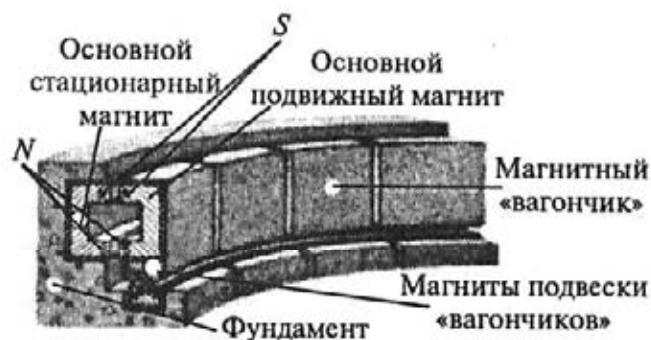
Гигантский супермаховичный накопитель Стивена Поста





Кольцевой супермаховик

но реализуются прочностные свойства волокон. Кольцо-супермаховик удерживается в камере в подвешенном состоянии с помощью магнитных опор, размещенных в нескольких местах по окружности. Само кольцо служит ротором мотор-генератора, а те места, где стоят обмотки магнитов, — статором. Это упрощает отбор энергии и зарядку супермаховика.



Супернакопитель энергии

Большие перспективы сулят так называемые кольцевые супермаховики, о которых упоминалось выше. Единственной подвижной частью такого супермаховика является кольцо, навитое из высокопрочного волокна и помещенное в вакуумную камеру в форме бублика — тора. Поскольку кольцевой супермаховик лишен центра, в нем наиболее пол-

Если сравнить кольцевой супермаховик со стальным маховиком из самой прочной стали, то выявится следующее. Плотность энергии первого в 2–3 раза больше, чем второго, и достигает 0,5 МДж/кг. Потери на вращение у него в 50–100 раз меньше, чем у стального, благодаря чему он может свободно вращаться

в течение 750, а в перспективе — 12 тыс. ч, то есть продолжительность его вращения без остановки — 500 суток, или полтора года! Особенно перспективен кольцевой супермаховик при использовании для его изготовления новых сверхпрочных нановолокон и лент из углерода — суперкарбона, когда плотность энергии возрастает еще в тысячи раз! Ведь вращающийся с космической скоростью супермаховик находится в вакууме и ни с чем не контактирует.

Конструкция кольцевого накопителя привела меня с соавторами к идее «сверхнакопителя» энергии, который тоже был признан изобретением. Мы решили «переложить» с маховика на землю огромные разрывные напряжения, возникающие во вращающемся кольце. Но практически осуществить это будет возможно только в накопителях гигантских размеров.

В общих чертах идея «сверхнакопителя» такова. Кольцевой маховик в корпусе зарыт в землю горизонтально. На внешней поверхности кольца-супермаховика и на обращенной к ней внутренней поверхности



корпуса одноименными полюсами друг к другу уложены сильные постоянные магниты. Взаимодействуя, они сжимают кольцо-супермаховик и растягивают корпус. От корпуса это растяжение передается фундаменту, в котором заключен корпус, а в результате и земле. Иными словами, земля используется в данном случае как гигантский и очень прочный корпус!

Может возникнуть вопрос: хватит ли сил у магнитов, чтобы противостоять колоссальному стремлению частей супермаховика удалиться от центра, а если и хватит, то не будет ли супермаховик «раздавлен» этими силами при остановке?

Все дело здесь, оказывается, в размерах, точнее, в диаметре супермаховика. Чем он больше, тем меньше магнитные силы. По мере разгона магниты супермаховика вследствие его растяжения все теснее поджимаются к соответствующим магнитам на корпусе, зазор между ними делается все меньше, а сила отталкивания — все больше. При остановке происходит обратное явление — магниты маховика отходят от корпуса, зазор увеличивается, и сила отталкивания падает. Поэтому маховик и не «раздавливается» в состоянии покоя.

У хороших постоянных магнитов при малых зазорах сила отталкивания может стократно превышать силу тяжести подвешиваемой массы. Постоянные магниты применяют для вывешивания над магнитными «рельсами» вагонов-магнитопланов. Подобные магнитопланы уже в недалеком будущем будут курсировать между городами со скоростями, доступными сейчас лишь самолетам.

Наш супермаховик-кольцо можно представить в виде как бы непрерывной кольцевой сцепки из таких «вагончиков», только гораздо меньших и состоящих почти из одних магнитов. Крутиться это «гибкое» кольцо будет в вакуумированной трубе, уложенной вокруг электростанции, завода или даже города. Если радиус кольца достигнет, например 16 км (приблизительно столько же у кольцевой автострады вокруг Москвы), то с применением упомянутых постоянных магнитов скорость кольца-супермаховика составит 4 км/с!

Плотность энергии кольцевого гиганта должна быть 8 МДж/кг, при сечении супермаховика всего  $0,5 \text{ м}^2$  такая плотность создаст полный запас энергии в накопителе —  $2 \cdot 10^{15}$  Дж, что в 200 раз больше, чем в огромном сверхпроводящем накопителе, спроектированном французскими учеными. Этой энергии вполне хватило бы на освещение всех городов мира в течение вечера. А ведь объем французского накопителя вдвое превосходит объем нашего кольца.

Сегодня учеными разработаны магниты, сила взаимодействия которых в тысячи раз превышает их силу тяжести. К слову, такие магниты от нашей магнитной подвески имеются у меня дома. С ними



обращение должно быть особое — если вдруг окажется, что расстояние между ними мало, они мгновенно устремятся навстречу друг другу, ломая все на своем пути. Главное, чтобы на их пути не оказалась рука человека. Сдавливание в сотни килограммов гарантировано!

Если такие магниты поставить на наш сверхнакопитель, то скорость кольца супермаховика достигнет 12,6 км/с и превысит даже вторую космическую скорость. Плотность энергии тогда будет 80 МДж/кг, а вся энергия накопителя составит  $2 \cdot 10^{16}$  Дж. Это значительно больше избыточной энергии электростанций всего мира, хотя по плотности энергии такой сверхнакопитель раз в 40 меньше супермаховика из суперкарбона.

Можно пойти по пути уменьшения размеров накопителя и ограничиться запасом энергии в  $10^{11}$  Дж. Получится все-таки достаточно емкий накопитель, способный обеспечить равномерную работу большой электростанции. При радиусе накопителя 0,5 км сечение его подвижных магнитов будет всего 5×5 см. Такой накопитель в виде тонкой кольцевой трубки нетрудно расположить вокруг любой электростанции со всем ее хозяйством.

### На позициях сотрудничества

Накопители энергии издавна помогают друг другу в работе. Если бензиновый и, скажем, дизельный двигатели незачем ставить на автомобиль одновременно, то аккумуляторы разных типов, наоборот, целесообразно объединять.

Я уже говорил о том, как тепловые аккумуляторы помогают газовым отдавать больше энергии, — рассказывал про трамвай, который «заправлялся» сжатым воздухом и кипятком, про свой микромобиль, что работал от газового аккумулятора — баллона с углекислотой вместе с тепловым аккумулятором — кастрюлей с расплавленной солью. А могут ли столь же успешно «сотрудничать» маховичные накопители ну хотя бы с электроаккумуляторами?

Оказывается, это сотрудничество одно из самых перспективных. Помните недостатки электромобиля? Он медленно разгоняется, не идет в гору, не может использовать кинетическую энергию, выделяемую при торможении. И всему виной невысокая плотность мощности электроаккумуляторов. По той же причине сами электроаккумуляторы не выносят быстрой зарядки. Они либо портятся, как, например, свинцово-кислотные, либо просто тратят «лишнюю» мощность на нагрев, как щелочные. Обыкновенные же маховики, не говоря об «энергетических капсулах» — супермаховиках, развивают какие угодно мощности, лишь бы выдержал привод, и, кроме того, позволяют



сохранять кинетическую энергию транспортного средства. Соединив эти два накопителя на одном электромобиле, можно получить большой выигрыш.

Электроаккумуляторы движут такой электромобиль только по ровным дорогам без уклонов, где не требуется торможений и разгонов, — иными словами, они обеспечивают ему крейсерскую скорость. А там, где нужны разгоны, обгоны, торможения, подъемы в гору, берется за дело супермаховик. По сравнению с обычным электромобилем здесь значительно повышается максимальная скорость, более чем вдвое сокращается время разгона, путь пробега увеличивается почти в два раза.

Так, у одной из моделей американского «гибридного» электромобиля с супермаховиком длина пробега без подзарядки составляет 112 км против 63 км у обычного электромобиля. Масса супермаховика с приводом для полутонного электромобиля — всего 75 кг.

Неплохой «гибрид» получается из электроаккумуляторов и гидрогазовых накопителей. Последние также помогают использовать кинетическую энергию машины, значительно повышают путь пробега, скорость электромобилей, сокращают время их разгона.

На маленьких электромобилях эффективны даже резиновые накопители. Они просты и вполне применимы для накопления небольшой энергии. Я однажды было собрался поставить на самодельный электромобиль для накопления энергии торможения свой накопитель от резиномобиля, но когда узнал, что подобное уже сделали английские инженеры, раздумал — не хотелось повторять чужой эксперимент.

Можно соединять вместе и аккумуляторы одного вида. В Японии, к примеру, на электромобиле установили два типа электроаккумуляторов — стартерные и тяговые батареи. Первые, хорошо переносящие большие токи и мощности, работают на разгонах и обгонах, а вторые, имеющие более высокий КПД и плотность энергии, — на крейсерской скорости, питая электромобиль на ровной дороге без подъемов и разгонов. Конечно, стартерные электроаккумуляторы по плотности мощности не идут ни в какое сравнение с маховичными или гидрогазовыми накопителями, но и эта «гибридизация» в чем-то полезна. Очень широко распространены «гибриды» статических и динамических накопителей одного и того же вида энергии. Всем известный маятник, в том числе и балансир с пружинкой в наручных часах, — «гибрид» статического аккумулятора механической энергии в виде поднятого



Электромобиль с супермаховиком

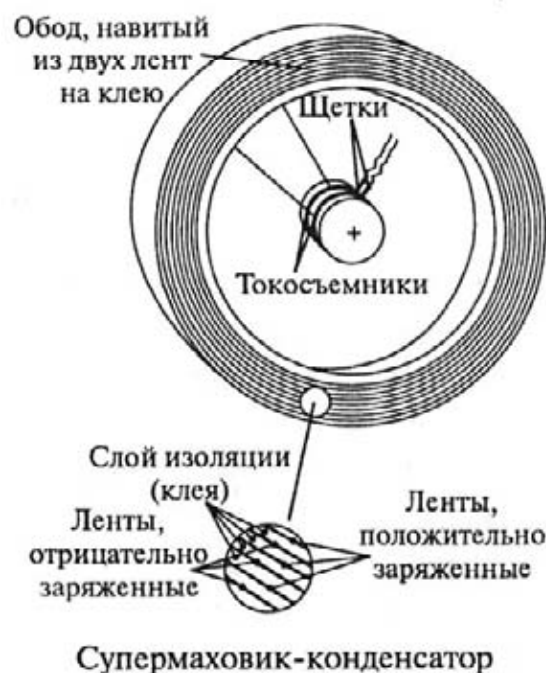


груза или скрученной пружины и динамического аккумулятора той же энергии — маховика. «Перетекание» энергии из статического аккумулятора в динамический, и обратно, носит колебательный характер. Эти колебания необычайно точны по частоте, что и обусловило их применение в самых разнообразных часах.

Точно такой же эффект получим, объединив статический и динамический электрические аккумуляторы — конденсатор и катушку индуктивности. Вместе они образуют так называемый колебательный контур. Электрический колебательный контур — аналог механического маятника, законы колебаний того и другого одинаковы. Потери энергии в обоих случаях приводят к одному и тому же — колебания затухают, накопленная энергия переходит при этом в тепло.

И все-таки электрический и механический «маятники», несмотря на общность законов их колебаний, не могут заменить друг друга в технике. Представьте себе, что было бы, если бы в подвеске автомобиля вместо рессор ставили конденсаторы, в телевизоре вместо конденсаторов — рессоры, а катушки заменяли маховиками!

Но, пожалуй, самый неожиданный гибрид — это супермаховик и конденсатор в одном «лице». Ведь намотанный из тончайших, в микроны толщиной, лент метгласса (специальный быстроохлажденный металл, имеющий аморфную, как бы «стеклянную» структуру) супермаховик представляет собой идеальный конденсатор! Только навивать такой «гибридный» супермаховик надо не из одной, а из двух лент, склеенных между собой, что, собственно, почти одно и то же. Склеиваются эти куски при навивке обода синтетическим клеем, имеющим высокую диэлектрическую проницаемость. Вследствие того, что лента из метгласса имеет большую площадь поверхности, такой конденсатор будет обладать высокой емкостью. К тому же синтетический клей — прекрасный электроизолятор.



В результате получаем супермаховик из прочнейшего метгласса, дешевого год от года, а вдобавок совершенно «бесплатно» — без прибавки объема и массы, просто в качестве «подарка» — надежный конденсатор, вносящий свою «лепту» в общую энергетическую копилку.

Проведем небольшой расчет. Супермаховик из метгласса при прочности ленты в 3 ГПа (прочность, обычная для метглассовой ленты),



даже с запасом прочности, будет иметь плотность энергии 0,2 МДж/кг. Если наш супермаховик накопит как конденсатор всего 0,1 кДж/кг, то при массе супермаховика-конденсатора в 1 т это даст 0,1 МДж энергии, причем энергии электрической. Запас кинетической энергии в том же супермаховике составил бы при этом 200 МДж, и доля накопленной электроэнергии была бы просто ничтожна. Но и одна десятая мегаджоуля «на улице не валяется», а к тому же эта электроэнергия в виде электростатического заряда могла бы «возбудить» асинхронные генераторы привода, что очень ценно. На «гиробусе» для этой цели специально «возили» тяжеленные конденсаторы огромных размеров.

Успешно сотрудничают не только накопители разных типов. «Союз» с накопителями очень полезен и для тепловых двигателей. Любой двигатель хорошо работает на какой-то одной скорости, в каком-то одном режиме. Тогда у него и расход горючего наименьший, и выхлоп менее вредный. Изменение режима всегда ухудшает работу двигателя.

К сожалению, невозможно представить себе, чтобы автомобиль все время двигался с постоянной скоростью, при постоянной мощности двигателя. Автомобилю для разгона и подъема в гору требуется наибольшая мощность, при движении по ровной дороге без уклона на невысокой скорости — совсем небольшая, а на спусках и при торможении мощность им не только не потребляется, но даже выделяется. Сейчас эта мощность безвозвратно теряется, впустую нагревая и изнашивая тормоза, хотя накопители энергии, в первую очередь маховичные и гидрогазовые, отлично могли бы сохранять ее и отдавать при разгонах машины.

Этот процесс называется рекуперацией. Он очень важен для транспорта и имеет непосредственное отношение к «энергетической капсуле», поэтому рассмотрим его подробнее.

## Спасительные гибриды

*Автор находит основное предназначение супермаховику и супер-вариатору...*

### Что такое «рекуперация»?

Рекуперация — это использование того, что раньше предполагалось выбрасывать. Вот, решили мы старую одежду выбросить, а потом передумали и отдали ее в «секонд хенд». Это уже можно назвать рекуперацией. Или еще пример — испортилась на складе осетринка,



ну, стала она «второй свежести». Положено бы ее выбросить, но мы скармливаем ее свиньям — это тоже рекуперация. А если коптим ее и скармливаем теперь уже людям — то это рекуперация криминальная.

В большинстве случаев термин «рекуперация» относится к энергии. Допустим, в каком-то технологическом процессе нам надо выпустить в атмосферу отработанный пар, имеющий еще приличную температуру. Мы же используем этот пар для отопления или подогрева воды. Происходит процесс рекуперации энергии. А теперь поговорим о транспорте. Спускается с горы электричка, тяговые двигатели ее работают в режиме генераторов — вырабатывают ток. Его можно направить в реостаты и подогреть атмосферу, а можно направить обратно в сеть и помочь другой электричке взобраться на гору. Это — очень характерный прием рекуперации, давно используемый на электротранспорте, что дает большой экономический выигрыш.

Огромную экономию принесла бы рекуперация на городском транспорте — ведь он только и делает, что тормозит и разгоняется. Почти половина, иногда и больше, энергии, вырабатываемой двигателем машины, гасится в тормозах. Какое расточительство, ведь энергия эта, переходя в тепло, пропадает для нас навечно, «съедаемая» коварной энтропией, о которой мы уже говорили раньше. Что же сделать, чтобы спасти энергию?

Если речь идет об электротранспорте — трамваях, троллейбусах, поездах метро — то эта проблема еще имеет решение, правда частичное. Вот мы уже научились отдавать полученную при торможении энергию обратно в сеть, чтобы ее могли расходовать другие машины. Но практика показала, что этот путь не очень рациональный. Как быть, если, например, большинство водителей таких машин решило тормозить почти одновременно? Ведь это огромный выброс мощности, которую просто невозможно использовать. Поэтому эффект от отдачи энергии торможения в сеть не столь заметен.

Особенно велика роль рекуперации для поездов метро: они движутся очень быстро — до 90 км/ч и тормозят часто. Тот же рваный ритм движения и у трамваев, им приходится тормозить даже еще чаще.

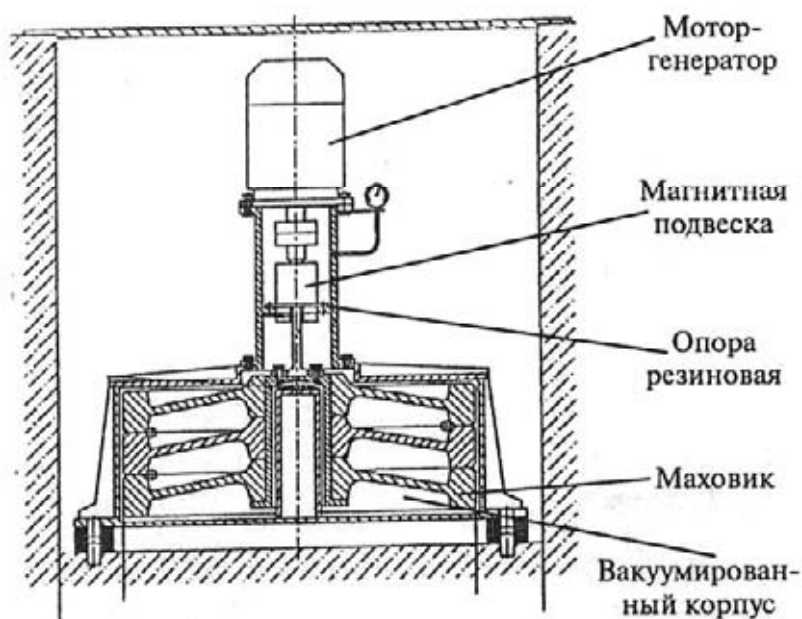
Вот бы сюда «энергетическую капсулу» — накопитель энергии. Затормозил трамвай или поезд метро — и энергия не уходит в тормоза или в сеть, где она не всегда нужна, а целенаправленно через электродвигатель раскручивает маховик. Машина остановлена, а энергия ее накоплена в раскрученном маховике. Настало время разогнаться — энергия из маховика через генератор, в который на время превращается электромотор, направляется в тяговые двигатели машины — по-



езда или трамвая. Машина разгоняется, а маховик замедляет свое вращение. Основной вопрос в том — где разместить «энергетическую капсулу»: поставить ее на саму машину или установить стационарно вблизи остановки, да еще для безопасности заглубить в землю?

Связь с машиной при этом будет осуществляться по проводам, здесь проблемы нет. Нужно только на время торможения и разгона отсоединять машину от основной силовой сети, чтобы не мешать остальным машинам нормально двигаться. Зато мы не будем стеснены габаритами и массой «энергетической капсулы», да и вопросы безопасности при размещении «капсулы» вблизи остановки решаются проще, чем в случае ее крепления на самой машине, рядом с пассажирами.

Описанная концепция размещения накопителя вблизи трамвайных остановок легла в основу проекта, который мы осуществляем в г. Ганновере совместно с германской энергетической фирмой SEEBa. Маховик, для дешевизны изготовленный из большого железнодорожного колеса, вращается в вакуумной камере на магнитной подвеске и соединяется с мотор-генератором. Последний через частотный преобразователь тока связывается с токоподающими проводами, которые как я уже говорил, на время торможения и разгона отключаются от основной силовой сети. Экономия ожидается в размере около 150 евро с одной трамвайной остановки в сутки.

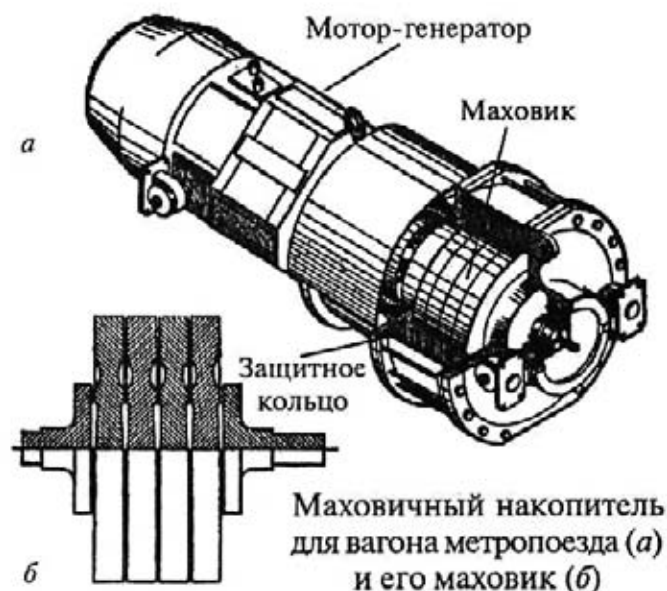


Маховичный накопитель для рекуперации энергии торможения трамваев

Аналогичные системы можно применять и в метро, только по размерам и массе они будут на порядок больше — ведь энергия тормозящего метropоезда огромна. Под стать этим размерам и экономическая эффективность — тоже на порядок больше, чем у трамвая. Ведь метрополитен — один из главнейших потребителей энергии в крупном городе.

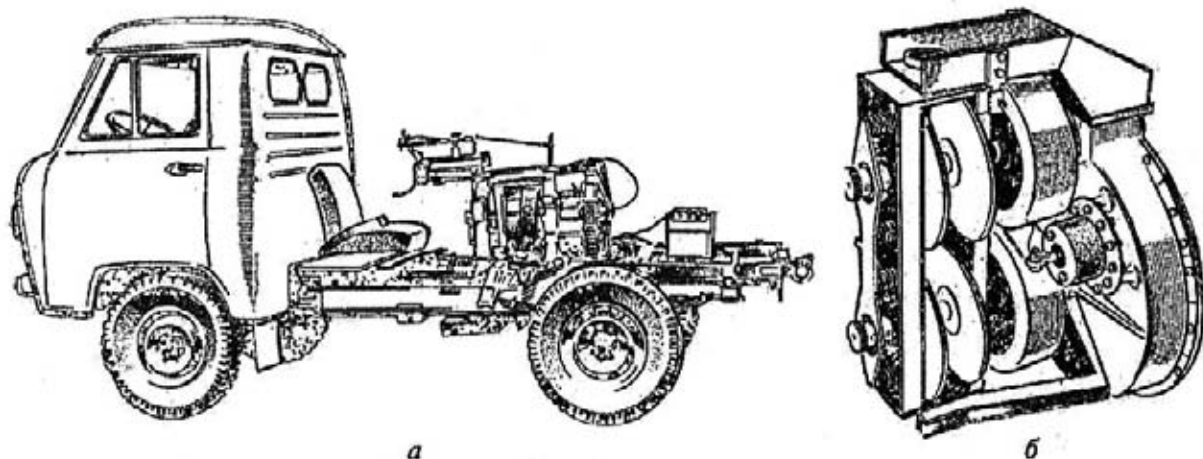
Американские инженеры пошли по другому пути: они установили маховичные накопители энергии прямо в вагонах метropоезда.





Храбрецы американцы — это очень рискованный шаг! Ведь маховик-то у них тоже монолитный, кованный, массой 250 кг, набран из нескольких фасонных дисков. Не ровен час — случайно или по злому умыслу — разорвется на полной скорости — ущерб, как от бомбы того же веса. Это же монолит, а не супермаховик, который, если и выходит из строя, то без страшных последствий! К такому маховику

«приложен» мотор-генератор в 2 т массой. При этом на каждый вагон требуется по два таких агрегата — итого 5 т лишнего веса. Маховичный метропоезд испытали в Нью-Йорке и получили около 30 % экономии электроэнергии. Такой же эффект можно получить и от стационарного накопителя, только его не надо было бы возить с собой, да и был бы он совершенно безопасным для людей, так как установили бы его в отдельной нише под землей.



Маховичный экспериментальный рекуператор на грузовике УАЗ-450 (а) и экспериментальный рекуператор энергии торможения для автобуса ЛАЗ-695 (б)

Другое дело, если речь идет о транспортном средстве с автономным двигателем, например автобусе. Его, конечно, проводами с неподвижным накопителем не свяжешь — тут придется устанавливать накопитель прямо на машине. Наш опыт изготовления и испытаний автобуса с таким агрегатом на борту в специфических российских условиях описан в шуточном рассказе «Трудности производства».

Изготавливали и испытывали мы автобус и с гидрогазовым накопителем, о котором речь шла еще в начале книги. «Трудности произ-



водства» были почти теми же, даже еще «покруче». Сейчас смешно вспоминать, а тогда, когда я сидел на баллоне, в котором было 250 атм. давления, а между ногами у меня проходило два толстенных шланга с тем же давлением, мне было не до смеха. Ведь и баллон, и шланги были экспериментальные, готовые «рвануть» в любой момент. Потом мне рассказывали, что масло под таким давлением не только режет части тела как нож, но и мгновенно заполняет всю кровеносную систему!

Результаты испытаний маховичного и гидрогазового накопителей-рекуператоров на автобусе оказались практически одинаковыми — экономилось около половины топлива, втрое сокращалась токсичность выхлопа. Казалось бы, радоваться надо, но я постепенно стал понимать, что путь использования на автотранспорте рекуператоров — тупиковый. Не рекуператор со своим особым, дополнительным приводом, пригодным только для торможений и разгонов, нужен автомобилю, а «гибрид» — симбиоз супермаховика и автономной энергетической установки с супервариатором в качестве их общего, единого привода на все случаи жизни!

### Каков КПД автомобиля?

Да простит меня читатель, если я задам ему детский вопрос: каков КПД у автомобильного двигателя? «Совсем профессор от жизни отстал», — скорее всего подумает он и ответит, что из учебника физики следует: КПД бензинового двигателя достигает примерно 25 %, а дизельного — приближается к 40 %.

А может, не будем верить печатному слову, а лучше убедимся в этом сами. Заправим бак топливом «по горлышко» и проедем по городу, разумеется, без происшествий и «пробок», 100 км. А затем дольем бак из мерного сосуда снова до прежнего уровня. Если ваш автомобиль весит около тонны и работает на бензине, то долить придется в среднем около 10 л; для автомобиля той же массы с дизельным двигателем потребуется примерно 7 л солярки. Так как научные расчеты производятся не в литрах, даже не в пол-литрах, а в килограммах, то для бензина, с учетом его плотности, это составит 7 кг, а для солярки — чуть больше

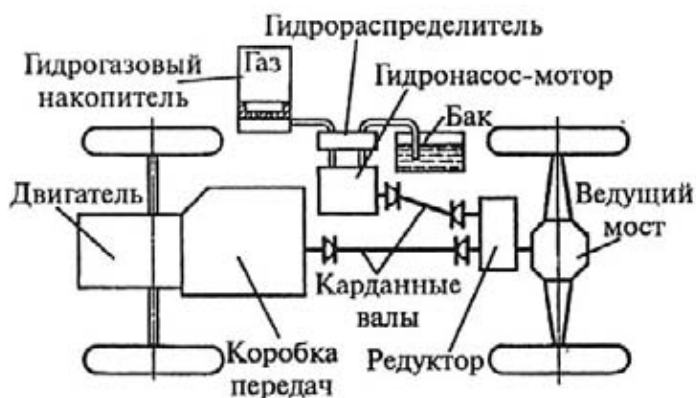
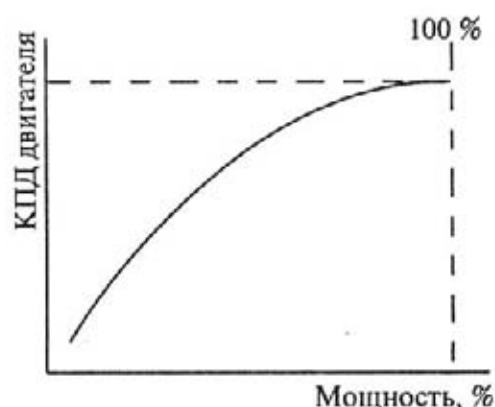


Схема гибридного силового агрегата с гидрогазовым накопителем для автобуса ЛАЗ-695



5 кг. При сжигании эти килограммы топлива выделяют (можете проверить по справочнику!) 323 и 250 МДж энергии, соответственно. А затратит ваш автомобиль при движении со скоростью 50–60 км/ч (и это еще хорошо для города!) в среднем 25 МДж, о чем мы уже говорили выше. Поделим эту полезную работу на затраченную энергию и получим КПД для бензинового двигателя 7–8 %, а для дизеля – 10 %. Вот вам теория – 25 и 40 %, а вот суровая правда жизни – 7,5 и 10 %! Конечно, кое-что теряется и в трансмиссии, но это крохи по сравнению с потерями в двигателе.

Так что ж, врут авторы учебников? Нет, не врут, но лукавят. Тот КПД, что в них указан, относится к одному единственному режиму работы, называемому оптимальным.



Зависимость КПД двигателя внутреннего сгорания от мощности

А как, собственно, в научных институтах получают этот расход топлива? Испытуемый двигатель (не будем уточнять: оснащенный дополнительными системами – вентилятором, компрессором, генератором и т. д. или нет) устанавливают на специальный стенд, где его нагружают сопротивлениями, попросту – тормозят. Изменяют подачу топлива, момент сопротивления, частоту вращения, ведут строгий учет расхода топлива. Зная момент сопротивления и частоту вращения, можно

определить мощность, а умножая эту мощность на время, получить работу в киловатт-часах. Правильнее, конечно, было бы выразить ее в джоулях. Так вот – 1 кВт·ч равен 3,6 МДж. Теперь, зная расход топлива в килограммах, можем отнести его к произведенной двигателем работе и получить так называемый удельный расход топлива. Чем современнее двигатель, тем меньше удельный расход топлива при наибольшей мощности и тем больше его КПД. Вот откуда эти 25 и 40 %!

А какова мощность, расходуемая двигателем при движении автомобиля со средней скоростью 50–60 км/ч? Оказывается, для оговоренной массы автомобиля она составляет около 4 кВт. Трудно в это поверить, но автомобиль с двигателем около 100 кВт тратит при этой скорости всего 4 % мощности. И какой КПД вы еще хотите получить при этом? Особенно с учетом привода от двигателя множества всяких дополнительных агрегатов.

Что же делать? Если попробовать ехать на нашем автомобиле при оптимальном режиме работы двигателя, то это составит около 180 км/ч, что не всегда нужно. Да и, честно говоря, при такой скорости почти все



топливо уйдет на взбалтывание воздуха, или, по-научному, на аэродинамические потери.

Можно пойти по другому пути, поставив на наш автомобиль двигатель мощностью 5 кВт, то есть в 20 раз меньшей мощности. Тогда при скорости 60–70 км/ч наш автомобиль покажет рекордную экономичность, а двигатель — именно тот КПД, что указан в учебниках. Но, увы, такая скорость движения никого не устроит, не говоря уже о том, что разгоняться наш автомобиль будет медленнее товарного поезда.

Как же разрешить это противоречие, неужели никто об этом раньше не думал? Да нет же, думали. Уже чуть ли не полвека прошло с тех пор, как была предложена концепция так называемого «гибридного» силового агрегата. Предлагалось включать двигатель только при оптимальном режиме, чтобы запастись выработанную им «экономичную», а к тому же и «экологичную» энергию в накопителе, и выключать двигатель, когда он переполняется энергией (пусть отдохнет!), то есть использовать для движения автомобиля именно эту, самую дешевую и чистую энергию!

На заре автомобилизма и даже гораздо позже, в 50-е годы прошлого века, у нас в стране, когда дороги были не так загружены, эту энергию накапливали в самой массе автомобиля. Делалось это так: автомобиль разгоняли примерно до 80 км/ч почти на полной мощности двигателя, а следовательно, и при максимальном КПД. После этого двигатель выключали, а коробку передач ставили в нейтраль. На автомобилях тех лет делать это еще разрешалось. И автомобиль шел с неработающим двигателем и отключенной трансмиссией накатом чуть ли не целый километр, пока скорость не падала ниже 30 км/ч. Затем опять включалась трансмиссия, запускался двигатель и разгон повторялся. И так автомобиль ехал всю дорогу.

Такое движение по научному называется «регулярным импульсивным циклом». Благодаря этому циклу передовые водители-«стахановцы» тех лет сэкономили до 30 % топлива. При этом энергия двигателя, работающего почти в оптимальном режиме, накапливалась в массе самого автомобиля, как в аккумуляторе, и шла она на движение автомобиля накатом. Конечно же, никакой регулировки скорости движения такого автомобиля-накопителя произвести было невозможно. Его трансмиссия была отключена, разогнанный автомобиль был накопителем и потребителем собственной энергии. Как если бы поставить раскрученное колесо или маховик на ребро и дать ему возможность свободно катиться.

Конечно же, не это было моей целью. Автомобиль должен нести в себе накопленную кинетическую энергию, но при этом быть управляемым, причем лучше всего, чтобы скорость изменялась плавно и бесступенчато, а для этого нужен вариатор.



## Супермаховик и супервариатор в помощь двигателю

А теперь попробуем связать колеса автомобиля с «настоящим» емким накопителем энергии — супермаховиком, для чего придадим ему в помощь вариатор с широким диапазоном регулирования — супервариатор. Двигатель при этом останется на своем «законном» месте, только вместо примитивного чугунного маховика с его коленчатым валом повышающей передачей свяжем супермаховик. С ведущими колесами этот супермаховик свяжет уже супервариатор.

Не рискуя ошибиться, могу сказать, что в будущем практически все силовые агрегаты автомобилей будут гибридными: по той или иной схеме, но обязательно содержащими в себе как двигатель, так и накопитель, а также бесступенчатый привод к ведущим колесам, так как автомобилю для движения каждый раз нужна различная мощность, а двигатель экономично может работать только на одной мощности — близкой к максимальной. Поэтому и должен двигатель работать в этом режиме, а излишки мощности переводить в «энергетическую капсулу» — накопитель энергии. А уже эта накопленная дешевая и экологичная энергия будет расходоваться автомобилем по необходимости.

Как же будет работать гибридный силовой агрегат на автомобиле? Перед началом движения двигатель разгонит до стартовых оборотов супермаховик, а заодно и «прогреется». Энергии на это потребуется очень мало — что-то около 1 кВт·ч для автобуса, а для легкового автомобиля и того меньше. «Зарядка» супермаховика может производиться не только во время «прогрева» двигателя, но и тогда, когда на малом ходу автомобиль, скажем, выезжает из гаража или проезжает через двор, — супервариатор, связывающий двигатель, а стало быть, и супермаховик с колесами, вполне позволяет это. Ведущие колеса автомобиля почти всегда связаны с трансмиссией особым редуктором, называемым «главной передачей». Вот с ней и связывается выходной вал супервариатора.

Для гибридов рекомендуются двигатели с пониженной мощностью, что-то около 30–50 % от мощности штатного двигателя. Но если это скоростной автомобиль, то мощность можно и не понижать.

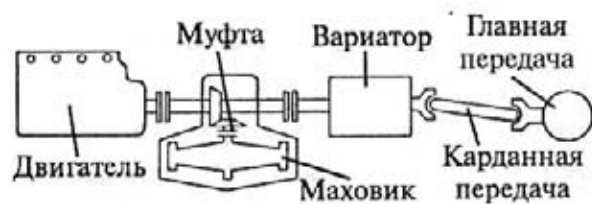


Схема гибридного силового агрегата автомобиля с маховичным накопителем

Допустим, что автомобиль едет по городу со скоростью 50–60 км/ч, расходуя малую часть мощности двигателя. При этом, если в супермаховике недостает энергии, то «зарядка» может выполняться прямо на ходу. Считаем,



что максимальная энергия будет накоплена в супермаховике при 30 тыс. оборотов в минуту. При достижении этих оборотов двигатель автоматически выключается и отсоединяется от супермаховика. Фактически двигатель должен быть отрегулирован на один-единственный режим работы — оптимальный. Альтернатива ему — стоянка, никаких холостых ходов с выбросами самых вредных газов. Все приборы, которые необходимо питать, приводятся в действие от постоянно вращающегося супермаховика.

Итак, автомобиль движется, расходуя энергию только от супермаховика. Покажем, что супервариатор позволяет делать это. Обычно обороты супермаховика при потреблении энергии не снижают больше чем на треть — это разумнее всего. При этом выделяется более половины всей запасенной в нем энергии. Возьмем самый невыгодный случай, когда нужно развить скорость 160 км/ч при минимальном запасе энергии в маховике, то есть при 20 тыс. оборотов в минуту. Не забудем, что двигатель соединен с супермаховиком повышающей передачей с передаточным отношением обычно около 6. Работу самого двигателя, который может подключиться и «помочь» при этом, в расчет не принимаем (эта работа идет в запас). Поделим обороты двигателя, а в данном случае это 3333 оборота в минуту ( $20000 : 6 = 3333$ ), на скорость автомобиля — 160 км/ч и получим особый коэффициент, пропорциональный передаточному отношению супервариатора; в нашем случае он равен 21. А теперь представим себе другой невыгодный случай, когда на предельных оборотах супермаховика — 30 тыс. оборотов в минуту и двигателя — 5 тыс. оборотов в минуту нужно ехать с самой низкой скоростью. Определим ее. Мы уже говорили, что передаточное отношение супервариатора может меняться в 20–25 раз; стало быть, наш коэффициент 21 должен увеличиться примерно до 500. Поделим обороты двигателя — 5 тыс. на 500 и получим 10 км/ч, что вполне приемлемо.

Итак, супервариатор при самых невыгодных условиях позволяет изменять скорость автомобиля от 10 до 160 км/ч как при разгоне, так и при рекуперативном торможении машины. И это все — без помощи двигателя! Нужна скорость меньше 10 км/ч — отсоединяем супермаховик и работаем только на двигателе, который может еще раза в три снизить свою частоту вращения, а стало быть, и скорость автомобиля. Нужна скорость больше 160 км/ч — опять же подключаем двигатель и совместной мощностью с супермаховиком повышаем скорость до 240 км/ч. Скорость больше 240 км/ч и меньше 3 км/ч развить нельзя — не позволит передаточное отношение данного супервариатора. Если нужно ехать со скоростью 300 км/ч или маневрировать с «ползучей» скоростью 1 км/ч, то нужно изменять параметры либо супермаховика, либо



супервариатора. Следует заметить, что максимальную скорость автомобиля с супермаховиком в качестве источника практически неограниченной мощности может развить очень быстро, это весьма полезно для проведения маневров и повышения безопасности движения.

Теперь представим себе ситуацию, когда запас энергии в супермаховике максимален, а мощность двигателя используется не в полной мере. Тогда двигатель просто автоматически отключается: покажет тахометр супермаховика 30 тыс. оборотов в минуту — питание двигателя автоматически прекращается и он отсоединяется от супермаховика. Опустились обороты супермаховика до 20 тыс. оборотов в минуту — двигатель подсоединяется к повышающей передаче супермаховика и начинает получать питание; двигатель при этом запустится моментально от энергии супермаховика, причем за мгновение до этого включится маслонасос, подающий масло в двигатель. Заранее скажу, что все вопросы, связанные с остановкой, пуском, смазкой двигателя и т. д., уже решены фирмами, которые занимаются изготовлением автомобилей с гибридными силовыми агрегатами. Так что дополнительных проблем с этим не будет.

С помощью гибридных силовых агрегатов расход топлива снижается в 2–2,5 раза, да и всем экологическим требованиям такие агрегаты соответствуют. Тогда задам, казалось бы, риторический вопрос: почему гибридные силовые агрегаты, раз они так хороши, на автомобилях до сих пор широко не используются?

Ответ на этот вопрос таков. Во-первых, автомобили с гибридами, хоть малыми сериями, но производятся и оправдывают все ожидания. Супермаховики, энергоемкостью порядка 1 кВт·ч, требуемые для этого, никакой проблемы не представляют, необходимая автоматика тоже. Проблему представляет привод от супермаховика на колеса, вернее, на главную передачу автомобиля. Этот привод должен, во-первых, иметь диапазон 20–25, не меньше, о чем уже говорилось; во-вторых, КПД его должен быть предельно высоким. Почему же «предельно», а не просто высоким? Просто высокого КПД, то есть порядка 0,9, хватило бы для привода автомобиля только от двигателя; кстати, и диапазона 6–8 тоже вполне хватило бы, и не нужно этих фантастических показателей — 20–25. Но если про необходимость большого диапазона мы уже говорили, то про необходимость предельно высокого КПД пока еще ничего не сказали.

По сравнению с обычным приводом автомобиля от двигателя, в гибриде мощность постоянно циркулирует по трансмиссии, допустим, по вариатору — от колес до супермаховика, и обратно. Когда тяговое усилие автомобиля направлено вперед, мощность идет от супермаховика через вариатор на колеса. При спуске или торможении двигателем



мощность меняет свое направление на обратное. И если в обычном автомобиле эта направленная вспять мощность гасится, принудительно прокручивая двигатель, то в гибриде происходит процесс рекуперации. Энергия снова возвращается в супермаховик, значительно, процентов на 30, повышая экономичность автомобиля. Поэтому значение КПД привода нужно принимать как бы в «квадрате», умножая само на себя. Например, при КПД привода 0,9, циркуляция мощности снизит его до  $0,9^2$ , то есть до 0,81. А это уже недопустимо мало! Вот 0,98, даже 0,97, пожалуй, хватило бы — тогда реальный КПД при рекуперации был бы не менее 0,95, что еще допустимо. Но таких приводов, кроме супервариатора, просто нет. Поэтому и используется в гибридах чаще всего электропривод, который позволяет обеспечить достаточный диапазон регулирования, правда, за счет сильного снижения КПД. Еще бы — механическую энергию двигателя нужно переводить в электрическую, а потом — обратно, чтобы подавать на колеса. Да и тяговые двигатели очень тяжелы и неэкономичны — как-никак крутящий момент нужно менять раз в 20–25, если использовать их для гибридов. Но все равно, и такие электромеханические гибриды дают большую экономию топлива. А супервариаторы пока на стадии опытных образцов. Что ж, подождем!

### Мифы и правда об электромобиле

Честно говоря, я не понимаю людей, которые авторитетно пишут и говорят: «Вот придумают емкий и эффективный аккумулятор энергии, и тогда придет конец автомобилям — будут одни электромобили!» Да полноте, господа хорошие, знаете ли вы, сколько сейчас в мире автомобилей и какова суммарная мощность их двигателей? Точное число, конечно, назвать трудно, но каждый год в мире выпускают 40–50 млн автомобилей, только половина из которых идет на замену износившегося парка. Получается, что в мире эксплуатируются сотни миллионов автомобилей. Если заменить их на аккумуляторные электромобили, то от чего заряжать-то их будем? Ведь суммарная мощность всех автомобильных двигателей многократно превышает мощность всех электростанций мира. А электроэнергии и так не хватает — про «верные» отключения, надеюсь, не забыли? Из-за перегрузки электросетей отключаются крупные районы даже в благополучных странах. И подключение на зарядку сотни-другой миллионов электромобилей — не более чем кошмарный сон энергетика. Если речь идет только о городском транспорте, об электрокарах или микроэлектромобилях для обслуживания пресытившихся игроков в гольф — то в этом случае, энергетики могут еще спать спокойно.



Много говорят об экономичности аккумуляторных электромобилей. Дескать, прожорливый двигатель не сравнить с экономичным аккумулятором. «Не верю!» — как любил говорить К. С. Станиславский, давайте убедимся сами, какой путь проходит электроэнергия от электростанции до аккумулятора электромобиля.

Газ, уголь или мазут на тепловых электростанциях, а их подавляющее большинство производят электроэнергию со средним КПД около 40–45 %. Можно спорить о теплофикации и других способах использования бросового тепла, но ведь и на автомобилях есть печки, потребляющие бросовое тепло двигателя. Так что давайте считать по-крупному.



«Статьи» расхода энергии на пути от электростанции до электромобиля

После электростанций ток идет на повышающие трансформаторы, затем на линии электропередач разной дальности с различными потерями энергии в них. Потом напряжение должно снова понижаться — один или несколько раз, после чего энергия поступает уже в городскую сеть, где часть ее снова теряется. Затем зарядная станция с выпрямителем еще возьмет свой налог; да и КПД при зарядке аккумуляторов тоже не блещет своей величиной. А в результате в батарее аккумуляторов электромобиля накопится весьма небольшая часть энергии сгоревшего топлива, КПД будет соизмерим с нынешним на обычных автомобилях. И экономичность электромобилей, по крайней мере, вдвое меньше, чем у автомобилей с гибридными силовыми агрегатами. Поэтому не будем возлагать столь большие надежды на массовый электромобиль или автомобиль, чья работа основывалась бы на использовании того или иного вида накопителя энергии, будь то электрохимическая батарея, конденсатор или супермаховик, ибо никакая революция в энергетике не способна обеспечить то количество энергии, что сейчас вырабатывается в двигателях автомобилей. Так что автомобили с автономными двигателями еще долго будут служить нам. А если эти автомобили станут еще и гибридными, то и заменять их электромобилями на аккумуляторах вообще не имеет смысла — первые и экономичнее, и экологичнее вторых.



Но есть еще один тип электромобилей, который потенциально способен заменить все автомобили с двигателями внутреннего сгорания. Это — электромобиль на топливных элементах, или, как еще его называют, электромобиль на электрохимических генераторах. Вот кого должен опасаться автомобиль!

Правда, у топливных элементов есть серьезные недостатки, которые мешают им конкурировать с обычными двигателями. Прежде всего следует вспомнить уже описанные цинко-воздушные элементы. В режиме работы гальванических элементов цинковый анод просто окисляется кислородом воздуха, а катод из пористого никеля практически не расходуется. Попросту говоря, цинковые аноды здесь являются топливом, и их приходится заменять, отправляя получаемые окислы цинка на переработку. Нельзя сказать, чтобы цинковое топливо было очень удобным или дешевым, но плотность энергии в цинко-воздушных элементах очень уж велика — она почти рекордная для химических батарей. Да и плотность мощности достаточна для привода электромобиля. Но рассматривать цинк как топливо для автомобилей всерьез все-таки вряд ли кто отважится. И хлопот не оберешься с утилизацией этих окислов цинка — у нас, например, эту «кашу» будут просто выбрасывать, и запасы цинка быстро иссякнут, по крайней мере на территории России.

Гораздо бо́льшую перспективу представляют топливные элементы на основе водорода, о которых тоже говорилось ранее. При этом совершенно необязательно заправлять автомобили с такими топливными элементами чистым водородом и кислородом. Первое время, во всяком случае. Заправка таких автомобилей будет производиться так же, как и обычных, — сжиженным или сжатым газом, бензином или соляркой. Уже на самой машине это топливо будет проходить через особый конвертор, вырабатывающий водород. Кислород же будет забираться из воздуха. Конечно же, у таких топливных элементов КПД будет ниже, чем у тех, что работают на чистом водороде и кислороде. Да и переработка топлива в конверторе тоже даром не обходится — и КПД топливного элемента падает с 70 до 56 %. Но все равно, даже у таких топливных элементов экономичность огромна, она вдвое выше, чем у бензиновых двигателей, работающих в оптимальном режиме. Но вот плотность мощности — сегодня около 60 Вт/кг при оптимуме КПД — совершенно неприемлема для автомобилей. Посудите сами, чтобы развить мощность 100 кВт, которую мы обычно принимали для двигателя легкового автомобиля, пришлось бы возить с собой более полутора тонн топливных элементов. Существуют проекты, основанные на «симбиозе» топливных элементов с конденсаторами, но такие проекты не кажутся мне удачными: уж очень мала плотность энергии



конденсаторов, и по-прежнему сохраняется необходимость в использовании тяжелых и дорогих тяговых электродвигателей.

И у меня созрел совершенно особый план создания электромобиля на основе перспективных топливных элементов. Да-да, вы не ошиблись — с использованием одновременно супермаховиков и супервариаторов!

## Новая концепция электромобиля

Начнем с расчета, во что выльется накопитель на основе самого современного конденсатора для легкового автомобиля с топливными элементами. Выберем эти топливные элементы для пробега автомобилем 600 км. При плотности энергии топливных элементов 400 Вт·ч/кг, масса их для такого пробега составит всего около 150 кг. Но эти 150 кг элементов смогут дать только около 9 кВт номинальной мощности. Маловато для автомобиля! Минимум, что нужно для легкового электромобиля массой в 1 т — это 50 кВт, чтобы при отличных шинах и обтекаемости кузова развить скорость хотя бы 150 км/ч, необходимую для обгонов и маневров. Продолжительность последних должна быть обеспечена на протяжении не менее 6 минут в час, это минимум, что нужно для безопасности. Остальное время можно ехать с крейсерской скоростью до 90 км/ч, что обеспечивается батареей топливных элементов, и для города, например, вполне достаточно. Тогда дополнительный источник мощности, обеспечивающий добавочные 40 кВт хотя бы в течение 6 минут, должен иметь запас энергии около 4 кВт·ч. Наилучшие современные молекулярные конденсаторы («ультраконденсаторы» фирмы «Максвелл», США) могут обеспечить около 7 Вт·ч/кг. Тогда для 4 кВт·ч энергии понадобится 570 кг «ультраконденсаторных» батарей. Это для легкового-то автомобиля! Не будем при этом забывать и тяжелые тяговые электродвигатели.

Между тем, выпускаемые промышленностью США супермаховики из графитового волокна давно уже обеспечивают плотность энергии в 200 Вт·ч/кг, а в перспективе — свыше 500 Вт·ч/кг. О супермаховиках из суперкарбона, способных обеспечить в тысячи раз большую плотность энергии, здесь не будем даже упоминать. Для наших 4 кВт·ч понадобится всего 20 кг обычных супермаховиков. Если взять супермаховик даже 30 кг массой, и это для автомобиля не помеха, он обеспечит 6 кВт·ч энергии и приблизит динамику этого электромобиля к современным требованиям. Напомню, что тяговые электродвигатели ограничены по крутящему моменту и «блестящей» динамики от них ждать не приходится. Так вот, супермаховик, связанный с колесами механической передачей, может обеспечить огромную мощность при



разгонах — механическая передача гораздо менее ограничена нагрузкой по сравнению с электрической.

Для разгона супермаховика нужен скоростной электродвигатель мощностью 10 кВт при 30 тыс. оборотов в минуту. Даже средний по качеству электродвигатель будет иметь массу не более 10 кг (вспомним американский электродвигатель для махомобиля Рабенхорста мощностью 30–40 кВт и массой всего 18 кг, даже при меньших оборотах!).



Новая концепция электромобиля

А дальше вращение от супермаховика передается ведущим колесам электромобиля посредством супервариатора через главную передачу. Никаких тяговых электродвигателей — почти чисто автомобильная схема! Масса супервариатора — около 50 кг. В результате масса добавочных агрегатов — чуть более 200 кг. При этом с обычного шасси автомобиля демонтируются: двигатель, бензобак с топливом, глушитель, аккумуляторы, стартер и генератор, радиатор, да и мало ли еще что. Масса всех этих агрегатов куда больше 200 кг. Таким образом, кузов и шасси серийно выпускаемых автомобилей вполне пригодны для электромобилей новой концепции.

Расчет показывает, что для городского электробуса с пробегом 400 км в день масса добавочных агрегатов составит около полутора тонн, что даже меньше демонтируемых с автобуса агрегатов.

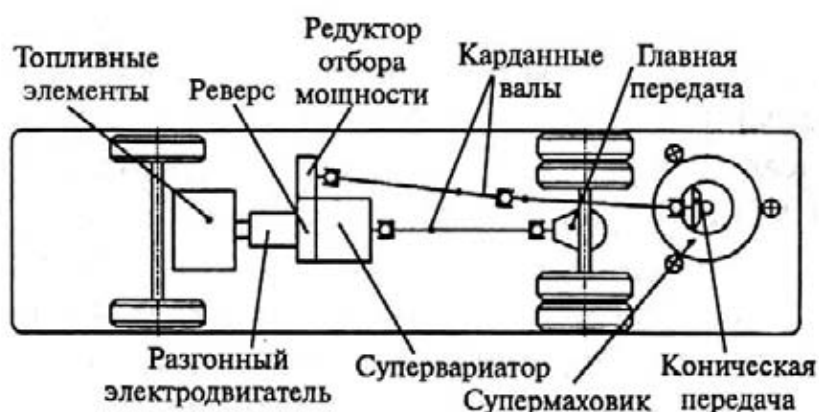


Схема электробуса новой концепции

Дополнительным компоновочным преимуществом супервариатора является то, что по форме и размерам он вполне соответствует ведущим колесам автобуса, что дает возможность разместить его непосредственно внутри обода колеса. Это позволит сэкономить много места



в салоне автобуса, понизить уровень его пола, сделав машину более комфортабельной.

Хотелось бы отметить неадекватную позицию некоторых зарубежных автомобильных компаний на наши предложения. Не рассматривая их по существу, они выражают удивление по поводу того, что колья выгода от них столь очевидна, то почему российские предприятия сами не реализуют эти предложения. И мне нечего им ответить. Но, к счастью, не все зарубежные фирмы так неадекватны, и нам, как Остапу Бендеру, остается надеяться, что «заграница нам поможет». Кстати, она уже нам помогает, только бы не сглазить!

### Трудности производства (шуточный рассказ)

Трудности эти касались изготовления «железа», то есть научных экспериментальных установок. И тут научные работники использовали различные «средства» — в зависимости от места своей работы.

А «средства» эти, например для сотрудников вузов были такими: кто-нибудь из работников завода обязательно учился на вечернем отделении, тогда мало кто имел высшее образование, а для руководства завода оно было очень желательно. Заключался «джентльменский» договор: вы нам — установку, а мы вам — оценку, а деньги, если и проплачивались, то только для проформы.

Такой «бизнес» цвел махровым цветом в городе Тольятти, где я тогда жил и работал в Политехническом институте. Вуз в городе был один, и все руководство тольяттинских заводов стройными рядами подрядилось помогать нашей науке. Это был период расцвета вузовской науки — экспериментальные стенды и установки изготавливались «за милую душу», вернее, за положительную оценку. Конечно, были и производственные трудности, о которых я хочу рассказать. Эти трудности касались изготовления и испытаний рекуператора энергии торможения для автобуса. С директором завода — моим студентом-«вечерником», договоренность была достигнута, и работа пошла...

На стадии проектирования почти каждую ночь меня озаряли новые идеи, а утром конструктор с ужасом узнавал, что чертежи опять надо переделывать. Наконец документация была готова, ее размножили и отдали на завод, где после долгих уговоров согласились изготовить «этакую маленькую модельку». Начальник производства, увидев чертежи, наотрез отказался от работы, заявив, что это не «моделька», а настоящая адская машина, и что она «не пойдет», то есть не будет работать. С полчаса мы препирались, пока я не спросил, а почему, собственно, «не пойдет»?



— Был у нас тут один доцент, — ответил начальник производства, — мы ему сделали тоже инерционный, но не рекуператор, а грохот. Грохот не работал. Стало быть, и ваш не будет.

Я столь же убедительно возразил:

— То был доцент, а я профессор, и наша конструкция будет работать.

Короче говоря, машину все-таки, не без вмешательства директора, запустили в производство. И тут началось...

Прежде всего корпус, в котором должен был вращаться маховик, изготовили меньшего диаметра, чем сам маховик. Пробовали затолкнуть его туда прессом, но я категорически запротестовал. Тогда решили расточить корпус и обточить маховик. Обработывая корпус, начисто срезали ему один бок, а обтачивая маховик, сбили ему центровку — появилась статическая неуравновешенность. На корпус наварили длинную латку, после чего его ужасно искривило, и подшипники не полезли в гнезда. Маховик переточили и к статической добавили динамическую неуравновешенность. Я совершенно было потерял голову, но заводчане, воспользовавшись моей вынужденной командировкой, затолкнули все-таки маховик в корпус на стотонном прессе и, выкрасив агрегат в голубой цвет, торжественно передали нам. Пришлось принять, хотя я и заметил им, что можно было не трудиться и не красить, во всяком случае, поверхности трения. Но радушные заводчане ответили, что для хороших людей им ничего не жалко, и отгрузили рекуператор.

Для стендовых испытаний рекуператора институт выделил нам подвал в только что выстроенном здании. Стояла холодная зима, а в подвале было тепло, и это нас радовало. Мы целыми днями разбирали рекуператор на детали и исправляли заводские дефекты. Убедились, что стотонный пресс на заводе работает хорошо: выпрессовать маховик мы так и не смогли. Пришлось заливать в корпус азотную кислоту и таким неслыханным способом выпрессовывать, а заодно и балансировать маховик. Помогали нам энтузиазм и сноровка, мешали пары азотной кислоты и темнота в наглухо закупоренном подвале.

Основные дефекты мы ликвидировали, оставалось только собрать рекуператор. Детальки были аккуратно разложены на полу, завернуты в бумажки и пронумерованы, на потолке горела недавно установленная лампочка, а в просверленную в потолке щелку проникало дыхание наступающей весны. Я спокойно уехал в командировку отчитываться о проделанной работе, поручив лаборанту сборку рекуператора, которую нужно было провести не торопясь, тщательно, а самое главное, соблюдая чистоту деталей и смазки.

Ох уж эта весна! Какую злую шутку сыграла она с нами! Вернувшись из командировки в радужном настроении, я заглянул в наш подвал и... обомлел. При тусклом свете лампы невозмутимый лаборант с сигаре-



той в зубах стоял в болотных сапогах чуть не по пояс в грязной воде. В руках он держал шланг, по которому мощная помпа гнала глинистый раствор наружу, через спасительную щелку в потолке. Подвал не был гидроизолирован, и в него прорвались талые воды. Две недели откапывали мы ржавые детали, узлы и, отчаявшись очистить их от грязи и ржавчины, собирали рекуператор как попало.

Настало время посылать агрегат заказчику для установки его на автобусе. Наученный горьким опытом, я тщательно гидроизолировал ящик для рекуператора и только после этого отправил груз на товарную станцию. Но и этой предосторожности оказалось недостаточно. По дороге крышку ящика повредили, и на завод он пришел полный воды. Рекуператор плавал в ней, как огурец в рассоле.

Установив наш агрегат на автобусе и убедившись, что он не работает, заказчик возвратил его нам обратно вместе с автобусом. Опять грязегидравлические испытания, теперь по ноябрьским дорогам. Пробуем пустить машину сами — передача разлетается на куски. В чем дело? Ого! Приваривая ушко для крепления, сварщик заказчика прожег корпус и накрепко приварил к нему маховик.

Наконец выкатили автобус во двор. Машиной управлял лаборант, а рекуператором с заднего сиденья — я. Договорились подавать сигналы друг другу свистками: один долгий — тормоза отпустить, два коротких — нажать. Предстартовая нервозность сыграла свою роль, и я, запуская рекуператор, вместо одного длинного свистка дал два коротких. От обломков передачи пришлось спасаться бегством.

Я заметил, что каждый новый ремонт рекуператора занимал у нас все меньше времени. Мы привыкли к постоянному ремонту и не вылезали из-под автобуса. Нас даже прозвали «Карлсонами, которые живут под автобусом». Оттуда я консультировал студентов, там же выслушивал институтские новости и подписывал бумаги. Зимой мы примерзали спиной к асфальту. Нас вытаскивали из-под автобуса заботливые студенты.

Опять наступила весна. Мы вывели автобус бережно, как норовистого коня. Выбрали тихую улочку, разогнались, и я уверенно включил рекуператор. Но это я лишь решил, что включил его. На самом деле я перепутал тумблеры, которые были заменены только накануне, и вместо «пуска» включил «аварийную остановку». Полетела прочнейшая стальная лента, связывающая маховик с колесами машины. Тут же склеили ее клеем № 88. Попробовали катить автобус — катится. Остановили — что-то с глухим стуком упало на асфальт. Глянули под автобус — батюшки, кардан! Поставили кардан, поехали. Снова включили рекуператор — не работает. Остановились, выбежали, осмотрели — ничего непонятно. Я в сердцах стукнул по нему кулаком — и автобус пошел — сам! — плавно набирая скорость. Едва догнали его. Теперь работает, и еще как — экономит почти половину горючего!



## Гибридные автомобили современности

Нет, наш труд, хотя кое-кто из пессимистов называл его «мартышкиным», не пропал даром. Говоря «высоким штилем» — из искры стало разгораться пламя, причем созидательное. Я далек от мысли, что это созидательное пламя разгорелось только от нашей скромной искорки. Но все наши изобретения, а их около трех сотен, были запатентованы, а патенты специалистами изучаются. Все наши находки и ошибки, концепции и расчеты, данные испытаний и планы на будущее публиковались в сотнях статей и десятках книг, изданных в том числе «за бугром». Работы эти цитировались и обсуждались в книгах и статьях зарубежных авторов, поэтому логично предположить, что кое-что из прочитанного использовалось и на практике. И я бываю просто счастлив, когда среди новых зарубежных конструкций и расчетов встречаю такие знакомые мне решения...

Конечно же, главное предназначение «энергетической капсулы», по крайней мере на ближайшее будущее, — это гибридные силовые агрегаты автомобилей. Сейчас многие промышленно развитые страны приступают к их выпуску. Существует много концепций гибридов, главным образом связанных с электроаккумуляторами и электроприводами. Ведь почти все преимущества супермаховика основаны на использовании механической трансмиссии с высочайшим КПД, иначе говоря — супервариатора. А его пока в промышленном исполнении нет — уж очень недавно он изобретен.

Пожалуй, самым известным гибридом является автомобиль «тойота приус». В этом гибриде двигатель соединен с генератором переменного тока, который заряжает аккумуляторную батарею, питающую опять же электрические тяговые двигатели переменного тока. Стало быть, преобразуется не только механическая энергия в электрическую, но и переменный ток в постоянный, и обратно. Однако этим дело не ограничивается — тяговые двигатели связаны сложной дифференциальной передачей, имеющей две степени свободы, с генератором и главной передачей автомобиля. Даже тепло от двигателя через специальные накопители тепла нагревает особый химический реактив — гидрид никеля, который выделяет водород, поступающий для сгорания в тот же двигатель! Что ж, «богатенькие» японцы здесь развернулись на славу! Не хватает только солнечных батарей и ветроколес для подзарядки батарей в солнечную или ветреную погоду. Себестоимость такого автомобиля баснословная, хотя продается он, видимо, по рекламным соображениям, не так уж дорого.

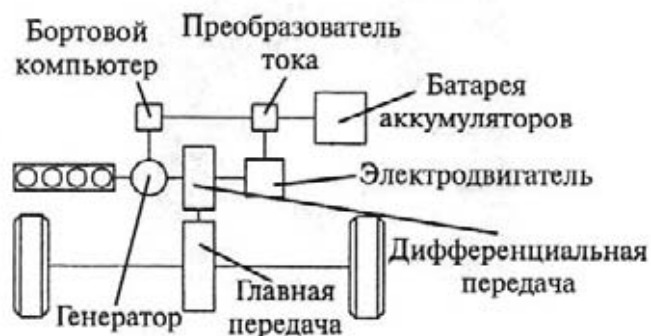
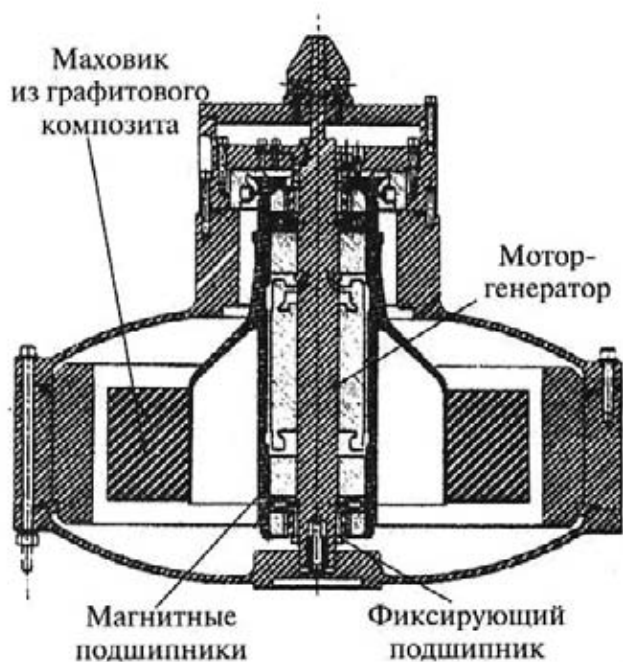


Схема гибрида автомобиля «тойота приус»



Ближе к реальной жизни, на наш взгляд, гибридный легковой автомобиль, проект которого разработан в США совместно с германской фирмой «BMW». При общей массе 1500 кг его двигатель потребляет всего 3 литра топлива на 100 км пробега. Если



Супермаховичный накопитель, разработанный американскими и германскими специалистами

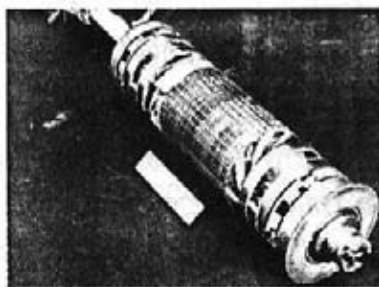
с бензиновым штатным двигателем такой автомобиль имел бы мощность 100 кВт, то в гибридном варианте оказалось достаточно дизельного двигателя мощностью 27 кВт и добавочных 50 кВт от супермаховичного накопителя с запасом энергии 1,5 кВт·ч. Обороты супермаховика — от максимальных 35 тыс. до минимальных — 17 тыс. оборотов в минуту. Схема гибрида обычная — дизель вращает генератор, который обеспечивает мощностью как тяговые двигатели автомобиля, так и разгонный электродвигатель супермаховика. Общая масса накопителя с электродвигателем, подвеской, супермаховиком и корпусом — 50 кг.

Интерес представляет конструкция супермаховичного накопителя. Супермаховик из композитного материала подвешен на колоколообразной ступице в вакуумированном корпусе. Подвеска — магнитная, с постоянными магнитами и фиксирующими шарикоподшипниками. Между верхними и нижними подшипниками установлен скоростной мотор-генератор, дающий дополнительную мощность тяговым электродвигателям. Сам супермаховик и ротор мотор-генератора можно видеть на фотографии.

Более смелый проект предложила известная американская фирма «Крайслер» для своей спортивной модели «Patriot».



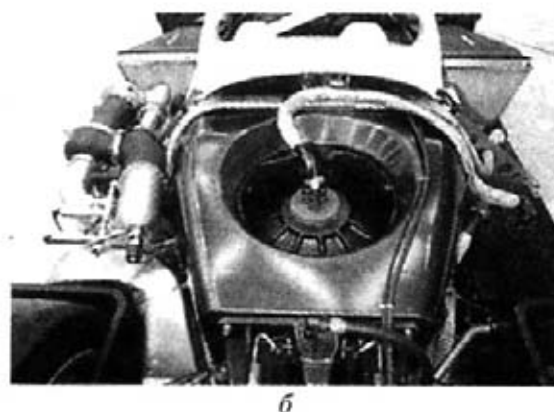
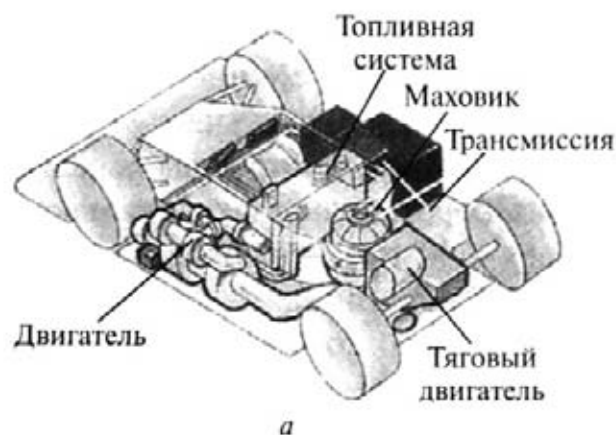
а



б

Супермаховик (а) и ротор мотор-генератора (б) американско-немецкого накопителя





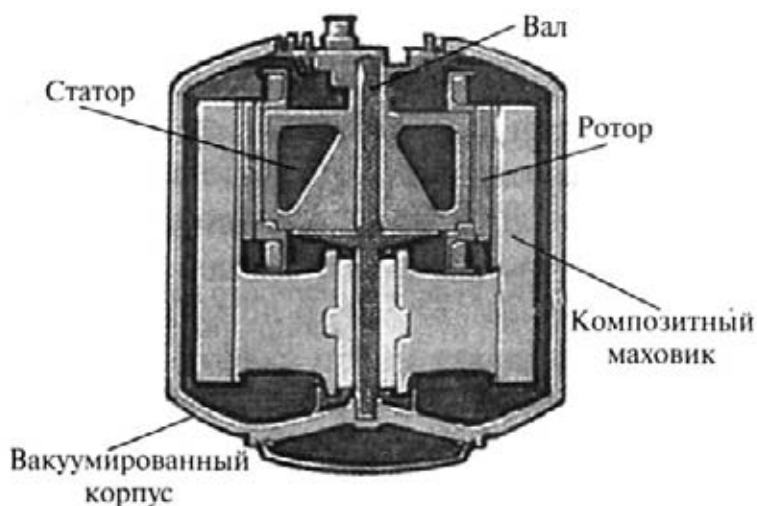
Устройство гибридного автомобиля «Patriot» фирмы «Крайслер» (а) и установленный на автомобиле накопитель (б)

Скоростной газотурбинный двигатель объединен в один агрегат с генераторами, дающими ток как для движения автомобиля, так и для подзарядки супермаховичного накопителя. Все агрегаты выполнены как бы в миниатюре специально для небольшого спортивного автомобиля массой около 700 кг и мощностью почти 500 лошадиных сил (370 кВт).

Супермаховичный накопитель содержит цилиндрический супермаховик, выполненный из графитового композита и помещенный в вакуумный корпус. Хотя об этом напрямую не говорится, подвеска, конечно, магнитная — другой здесь и быть не может. Мотор-генератор развит в размерах по диаметру, чтобы обеспечить огромную мощность, хотя бы в сравнении с предыдущим проектом.

Что ж, получился вполне компактный скоростной автомобиль, стоимостью в сотни тысяч долларов. Этаким гибридный «болид» для профессионального гонщика, а может быть, для богатого и столь же смелого автолюбителя.

Но настоящим автомобилем, вернее электро-мобилем будущего, я бы назвал гибридный автомо-



Супермаховичный накопитель автомобиля «Patriot» — его основной источник энергии — топливные элементы, работающие на водороде, который получают из метана, метанола или углеводородного жидкого топлива в конверторе на самом автомобиле. Вспомним, что ранее говорилось о топливных элементах, об их малой плотности мощности, несмотря на огромную плотность энергии и высокий КПД. Стало быть, для повышения мощности автомобиля нужно что? Да, конечно же, супермаховик! Его и использовали создатели нового электро-мобиля, серийный выпуск которого запланиро-





Гибридный автомобиль-такси с топливными элементами и супермаховичным накопителем

ван на 2010 год. Запас энергии в супермаховике — 2 кВт·ч; мощность его мотор-генератора номинальная — 50 кВт, но может быть временно повышена и до 100 кВт. Обороты супермаховика максимальные — 30 тыс. оборотов в минуту. Устройство накопителя — обычное. Супермаховик из композита, вероятно графитового, подвешен в магнитной подвеске в вакуумном корпусе. Мотор-

генератор на основе постоянных магнитов для экономичности. Обхватывающее корпус защитное кольцо — на случай разрыва супермаховика.

Читатель может спросить, а что же отличает эти гибриды от электромобиля, который предлагал автор? А отличие состоит в том, что привод в описанных гибридах электрический вместо супервариаторного. В результате масса — больше, а КПД — меньше. Но ведь сегодня

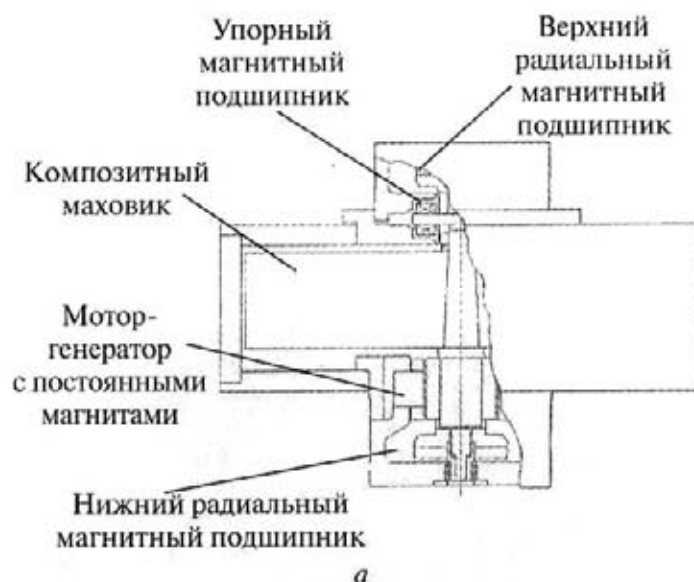


Схема супермаховичного накопителя гибридного такси (а) и общий вид накопителя (б)

нет реального привода к гибриду, кроме электрического. Ведь супервариатор пока — журавль в небе, а электропривод — синица в руках!

Вспомним, что раньше некоторые ученые считали супермаховик глупой фантазией, уверяя, что маховики надо лить или ковать из стали. А сейчас супермаховичный накопитель можно просто заказать. Вот я читаю рекламку: «Полная супермаховичная система с ротором из углепластика; мощность — 100 кВт; запас энергии — 1 кВт·ч; КПД — более 0,92; дизайн, цена — договорные. Калифорния, национальная лаборатория «Лауренс-Ливермор» — и далее адрес и факс. «Лауренс-Ливермор» — это вам ничего не говорит? Да это же одна из самых высокотехнологичных военных лабораторий в США, а пожалуй, и в мире.

Да, теперь супермаховик — в надежных руках!



## ЕСЛИ ХОЧЕШЬ БЫТЬ СЧАСТЛИВЫМ...



*Автор рассказывает о том, как стать счастливым, и подкрепляет этот рассказ конкретными советами, как житейскими, так и чисто техническими, не забывая, конечно, и об «энергетической капсуле».*

Один из афоризмов небезызвестного Козьмы Пруtkова призывает: «Если хочешь быть счастливым — будь им!» Что ж, ему не откажешь ни в остроумии, ни в глубокомыслии, тем более, что «содрал» он этот афоризм у Лоренцо Медичи (или Великолепного), писавшего: «Счастья хочешь — счастлив будь! Нынче, завтра — безразлично!»

Но совет уж больно расплывчатый, неконкретный. Нисколько не претендуя на лавры Козьмы Пруtkова, а тем более Лоренцо Великолепного, я перефразирую это изречение так, как понимаю его сам: «Если хочешь быть счастливым — будь изобретателем!» Ибо людей счастливее изобретателей, пожалуй, нет.

Я сам испытал немало счастливейших минут такого «озарения», какое заставило великого Архимеда выскочить голым на улицу с криком: «Эврика!» Как я был счастлив, когда мне пришла идея навивать обод супермаховика из проволоки, вместо того чтобы делать его цельным! А когда во сне я увидел вращающиеся кассеты магнитофона и понял, что это — мой вариатор! Или когда огромный полуторатонный маховик, подвешенный в моей магнитной подвеске, замер в «безразличном» равновесии! А последним (только пока!) таким счастливым озарением стала идея супервариатора. Думаете, эти мгновенья счастья соизмеримы с теми, которые случаются, например при выигрыше в лотерею миллиона, пусть даже долларов? Нисколько — деньги просто «сваливаются» на тебя, а идею, единственную и лучшую в мире, «вынашиваешь» ты сам!

Однако на этом пути, читатель, немало «подводных камней», как, впрочем, и в любом другом серьезном деле. Попытаюсь уберечь тебя от наиболее опасных из них, а заодно дам несколько советов, хотя это, как известно, и не самое благодарное дело.

Никогда не берись изобретать то, о чем мало знаешь; удачи здесь вряд ли добьешься, зато прослывешь «горе-изобретателем».



Постарайся изучить как можно больше в той области, в которой хочешь изобретать, и в первую очередь изучи изобретения, что были сделаны раньше; отнесись к ним с уважением и вниманием — их делали неглупые люди.

Вместе с тем не поддавайся мнению авторитетов, не ищи традиционных решений — толкового изобретения таким путем не создашь.

Думай постоянно о своем изобретении, не забывай о нем и перед сном — не исключено, что именно во сне ты увидишь решение мучительной для себя задачи.

Будь дружен с наукой, всегда обращай к ней в трудных случаях, не иди ей наперекор — и ты никогда не станешь изобретать «вечные двигатели», «инерциоды» и прочие химеры, которые превращают изобретателя из самого счастливого человека в самого несчастного...

Я рассказал тебе в этой книжке о моем поиске, который оказался столь же трудным, сколь и удачным — я все-таки воплотил свою мечту: нашел свою «энергетическую капсулу». Если ты будешь честно и добросовестно вести свой поиск, не пожалеешь для него времени, тебя тоже обязательно ждет удача. По-другому просто не бывает — это подтверждается многовековой историей человеческого поиска, это закон.

Интересных и увлекательных задач, решению которых можно посвятить себя, бесконечно много. Но мне очень хотелось бы, чтобы ты, так же как и я, отправился на поиски «энергетической капсулы». Иначе я не стал бы писать для тебя эту книжку.

Не подумай вдруг, будто все самое основное в поиске «энергетической капсулы» уже сделано и тебе остались лишь крохи. Сейчас трудно даже представить себе, какой в действительности окажется «энергетическая капсула» будущего, которую, возможно, построишь ты. Я надеюсь, что это будет супермаховик, моему коллеге электрику, видимо, больше по душе конденсатор или сверхпроводник, а химику, конечно, электрохимическая батарея! Решение же, вероятнее всего, где-то посередине, на «стыке» двух или нескольких направлений.

Я чувствую, что ты хочешь подтверждающего примера. Пожалуйста.

Возьмем палку с двумя грузами на концах и раскрутим ее на стенде, как стержневой супермаховик из куска троса — вокруг поперечной оси. Что мешает крутить быстрее? Да все та же малая прочность — грузы, стремясь двигаться по прямой, разорвут палку и разлетятся. Это ахиллесова пята всех маховиков — рано или поздно разрывается даже лучший из супермаховиков.

Обратимся за помощью к электричеству. Силы притяжения электростатических зарядов, оказывается, могут быть очень велики. Если поставить двух людей на расстоянии метра друг от друга и передать



одному из них всего 1 % электронов, взятых у другого, то сила притяжения этих людей будет равна... силе тяжести всего земного шара! Не знаю, поверишь ли ты мне, но это так.

Теперь используем это свойство зарядов в нашем стержневом маховике. Будем по мере раскрутки отнимать у одного из грузов электроны и добавлять их другому, заставляя их притягиваться друг к другу все сильнее. Так мы можем раскрутить маховик до сверхкосмических скоростей без разрыва палки и разлета грузов. При этом помимо колоссальной кинетической энергии будет накоплена и громадная электроэнергия в виде заряда.

Ну, как идея? Стоит поработать? Учти только, что я умышленно не говорю тебе о трудностях на этом пути.

Ты скажешь: «Ну что за накопитель энергии — палка с грузами на концах! Это несерьезно». Но подобная «несерьезная» идея может послужить основой для создания вполне реальной конструкции.

Помнишь, я рассказывал о супермаховике, который мы навивали из металлической ленты? Тебе ничего не напомнила эта модель супермаховика? Да ведь это же конденсатор, обычный конденсатор из фольги — накопитель электронов! Правда, в конденсаторах лента навита не в один, а в два слоя. Но и супермаховик тоже можно навить из двух лент. Если мы теперь станем раскручивать такой супермаховик, подавая постепенно на его ленты-обкладки напряжение, то эти ленты, накапливая электрическую энергию, будут одновременно притягиваться друг к другу, повышая прочность супермаховика. А это ведет к увеличению запаса кинетической энергии. Вот такая конструкция, основанная на «несерьезной» идее, была признана изобретением, и об этом я уже писал выше.

Или взять, например, так называемые пульсары — звезды малых размеров, но с громадной массой. Ведь они вращаются с огромными окружными скоростями, не доступными никаким супермаховикам, накапливают фантастическую кинетическую энергию. Почему же эти пульсары не разрываются? Не «пускает» гравитация, она мешает частицам пульсара разлетаться по инерции. Может, что-нибудь подобное ты придумаешь для маховиков?

Итак, в добрый путь, читатель! Ищи свою мечту и находи ее! Удачи тебе в этом поиске!

А для убедительности приведу краткие сведения из жизни наиболее чтимых мной «счастливых» изобретателей «всех времен и народов» — грека Архимеда, русского И. П. Кулибина, англичанина Джеймса Уатта и американца Томаса Эдисона. И у каждого из этих «гигантов», оказывается, была своя «энергетическая капсула». Пусть эти великие люди будут для тебя маяками удачи!



## Архимед (287–212 до н. э.)



Архимед

О нем мы все слышали с детства, особенно про то, как он выскочил из бани голым и понесся по улице с криком: «Эврика!» Что за человек был Архимед? Ведь он изобрел гораздо больше, чем это в состоянии сделать даже целый народ. Великий римский оратор Цицерон так сказал об Архимеде: «Я полагаю, что в этом сицилийце было больше гения, чем может вместить человеческая природа». А вот как писал об Архимеде античный историк Плутарх: «...забывал он и о пище, и об уходе за телом, и его нередко силой приходилось тащить мыться и умащаться, но и в

бане он продолжал чертить геометрические фигуры на золе очага и на собственном теле — поистине вдохновленный музами, весь во власти великого наслаждения...»

Перечислять, что успел сделать Архимед — не хватит ни времени, ни бумаги. Он изобрел винт, названный Архимедовым винтом, машины для подъема тяжести, военные метательные машины, зеркало — «лазер», сжигавшее на расстоянии вражеские корабли, нашел способы определения состава сплавов, открыл закон гидростатики и многое, многое другое. Это он, Архимед, на глазах своего друга и родственника — царя Гиерона и целой толпы жителей Сиракуз, сидя на стуле и вращая рукоятку изобретенного им механизма, вытянул на берег целый корабль. И похвастал, что мог бы и Землю сдвинуть, было бы только на что опереться...

Не был он чужд и энергетике — первую паровую машину, правда, военного назначения — «архитронито», — создал именно Архимед, а не кто другой. Это и была его «энергетическая капсула».

Архимед был убит римским воином, которому он сделал выговор за то, что тот посмел наступить на его чертежи.

## Иван Петрович Кулибин (1735–1818)

Изобретатель-самоучка, имя которого стало нарицательным для русских изобретателей. Изобрел и самостоятельно изготовил замечательные часы, бой которых каждые шестьдесят минут извещал о начале театрализованного представления игрушечных часовых фигурок. Часы эти он подарил самой Екатерине II.



Кулибин, обласканный императрицей, по ее приказу возглавил мастерские Петербургской академии наук, превратив их в центр по производству научных приборов. Кулибин создал массу изобретений: оптический телеграф, прожектор, суда, идущие без двигателя против течения (!), механические сеялки, плавучие мельницы, подъемные краны, насосы, оригинальные мосты через реки и многое другое.

К сожалению, не зная закона сохранения энергии, он много сил и времени отдал разработке «вечного двигателя», тщетно надеясь построить его...

Но свою «энергетическую капсулу» — маховик-накопитель энергии, движущий «самокатку», он успел создать, и чудо-«самокатка» поразила всех, кто видел, а тем более катался на ней...



И. П. Кулибин

### Джеймс Уатт (1736–1819)

Знаменитый английский изобретатель, на памятнике которому написано: «Увеличил власть человека над природой». Вся его жизнь была посвящена созданию паровой машины — его «энергетической капсулы». Паровые машины были и до Джеймса Уатта, но он первым догадался разделить рабочий цилиндр машины на горячую часть и холодную, что сразу вдвое увеличило экономичность машины и намного сократило ее размеры.

Уатту повезло — он занимался только своим любимым изобретательством. Финансовую часть он «переложил» на своего компаньона — крупного промышленника Мэтью Болтона. Это мечта всех творческих людей, особенно изобретателей — иметь такого «спонсора».

Между прочим, Уатт, помимо паровой машины и пяти вспомогательных механизмов для нее, изобрел еще центробежный регулятор, паровой молот, паровое отопление и многое другое. Выдающийся знаток техники, Джеймс Уатт, был по-настоящему высокообразованным



Джеймс Уатт



человеком — знал несколько языков, профессионально понимал литературу, учил и привлекал к своей работе молодежь. Был «на дружеской ноге» с известным писателем Вальтером Скоттом.

Окруженный уважением и славой, Джеймс Уатт прожил последние годы жизни в спокойствии и достатке.

### Томас Алва Эдисон (1847–1931)



Томас Алва Эдисон

Имя Томаса Эдисона стало синонимом изобретателя по всему миру. Пожалуй, во всей истории человечества не было изобретателя более плодovitого, чем Эдисон — только в США он получил 1098 патентов на свои изобретения. Работал он с огромным напряжением и страстью. Рабочий день его часто длился до 20 часов. Даже первую ночь после женитьбы он провел в своей лаборатории, заснув там от усталости...

Как-то в молодости он изобрел «тиккер» — указатель биржевых курсов. Когда его спросили, сколько он хочет получить за свое изобретение, он так и не смог выговорить желаемую сумму — 5 тыс. долларов, настолько она ему казалась огромной. Тогда покупатель сам выписал ему чек на 40 тыс. долларов, и Томас Эдисон потерял сознание от счастья.

Что изобрел Эдисон за свою долгую жизнь, а длилась она 84 года, трудно перечислить, легче назвать то, что он не успел изобрести. А изобрел он, в частности, электрическую лампочку и патрон к ней, генераторы и электродвигатели, электросчетчик, способ передачи по одному кабелю нескольких телеграмм, знаменитый фонограф — записыватель звука, электрифицированную железную дорогу, радиолампу и т. д. и т. п. — не буду перечислять все 1098 изобретений!

Была у него и своя «энергетическая капсула» — знаменитый щелочной аккумулятор, названный аккумулятором Эдисона; он широко используется и сейчас.

По численности и уровню квалификации сотрудников лаборатории Эдисона не уступали научно-исследовательским институтам; в его лабораториях трудились десятки ученых и инженеров. Многие из них потом сами стали выдающимися изобретателями — их всех Эдисон заставлял работать так же много и упорно, как работал сам. Жизнь Томаса Эдисона была настоящим подвигом мысли и труда. А я бы еще сказал — счастливым подвигом!



# О чем умолчали учебники

Тепловая смерть и «демон  
Максвелла»

Тайна шаровой молнии

Метеориты на привязи

Супермаховики и супервариаторы

Электромобили и гибриды

ISBN 5-93196-591-2



9 785931 965918