

---

**Н.Н. Жолонко**

Пилотируемые исследования Венеры  
водородными аэростатами

2013

УДК 620.92 521.9:552.6 629.7.076.66

ББК 31.6 (Б)20,1 (В)22,2

**Ж-79**

Пилотируемые исследования Венеры водородными аэростатами. Н.Н. Жолонко. – Черкассы: Издательство «Бизнес-стиль», 2013. - 215 с.

Обсуждаются возможности пилотируемых полётов к Венере с помощью существующих средств для создания в её атмосфере постоянно действующих водородных аэростатных станций, которые могут положить начало колонизации этой планеты как резервной для человечества. Этим ставится вопрос о чрезвычайной важности исследований Венеры как ближайшей к Земле планеты по расстоянию, массе и размерам, которая смогла бы в будущем стать пригодной для жизни людей. Показана особая роль водорода на Земле и в космосе как некоторого основного источника и аккумулятора, от которого можно получить большинство видов энергии, существующих в природе. Для учёных и студентов, преподавателей и инженерно-технических работников, любителей космонавтики и перспективных исследований. Целью книги является популяризация научных и технических знаний, направление сознания читателя к новым достойным целям и формирование активной жизненной позиции, стремления понять природные явления, роль и место человека в современном мире, который может иметь различные сценарии развития. Утверждается, что человечество не сможет найти своё спасение нигде, кроме ближнего космоса, поскольку мы являемся частью этой открытой системы. Физические условия Венеры наступят и на Земле, если люди не выйдут за пределы своей планеты и будут дальше продолжать уничтожать её биосферу вместо того, чтобы строить новые.

Табл. 18. Ил. 65. Библиогр. 46 названий.

ISBN 978-966-96412-4-3

© Н.Н. Жолонко

**На обложке:** «Буран» в сочетании с аэростатными баллонами как вариант создания первой станции на Венере

## Содержание

Предисловие. . . . .	5
Вступление. История исследований Венеры и других планет земной группы . . . . .	9
Часть I. Пилотируемые исследовательские полёты к Венере. . . . .	32
1. Физические и метеорологические условия в атмосфере и на поверхности Венеры. Водородный аэростат в венери- анской атмосфере. . . . .	32
2. Наблюдения Венеры на фоне солнечного диска. . . . .	40
3. На пути к Венере. Проблема доставки большой массы . . . . .	44
4. Спуск с орбиты большого челнока-аэростата и его ста- билизация на заданной высоте . . . . .	56
5. Дрейф и налаживание жизнедеятельности экипажа аэро- стата. Производство собственного кислорода, водорода и других материалов . . . . .	58
6. Радиолокация поверхности и спуск исследовательского самодвижущегося автомата. Перспектива создания бати- скафной базы. . . . .	61
7. Спуск, стыковка и поднятие малого челнока на орбиту Венеры для замены экипажа аэростатной станции . . . . .	63
8. Возвращение на Землю первой миссии после прибытия новой смены . . . . .	65
Часть II. Водород и перспективы его использования в различных отраслях . . . . .	66
1. Водород как химический элемент и экологически чистый аккумулятор энергии . . . . .	66
2. Производство водорода электролизом и его хранение . . . . .	73
3. Другие способы производства водорода. Очистка водорода. . . . .	84
4. Водород как источник воды. Живая вода . . . . .	89
5. Перспективы термоядерной энергетики . . . . .	100

6.	Сельское хозяйство как термоядерная технология на основе фотосинтеза растений. Энергия прогресса . . .	130
Часть III. Зачем исследовать и колонизировать Венеру. . . . . 147		
1.	Гидридные ядра Венеры и Земли и последствия глубоинной водородной дегазации . . . . .	147
2.	Проблема определения геологического возраста Венеры путём исследований её вулканизма и геологических структур. . . . .	154
3.	Изучение озонового слоя и других особенностей венерианской атмосферы . . . . .	159
4.	Проблема уменьшения температур и давлений в атмосфере Венеры. Создание заводов-автоматов для переработки углекислоты . . . . .	160
5.	Батискафные исследования условий на поверхности и сейсмических процессов под ней . . . . .	161
6.	Стратегическая цель человечества – колонизация Венеры и создание условий, похожих на земные. Проблема магнитного поля . . . . .	163
Выводы. . . . .		165
Использованная литература . . . . .		169
Приложения:		
A.	Двигатели мощных ракет . . . . .	171
B.	Космические самолёты: Буран, Спираль и Шаттлы . . . . .	190
V.	Юрий Васильевич Кондратюк (А.И. Шаргей) . . . . .	205
Abstract . . . . .		212
Content. . . . .		213

## Предисловие



*«Я верю, друзья, - караваны  
ракет  
Умчат нас вперёд от звезды  
до звезды,  
На пыльных тропинках  
далёких планет  
Останутся наши следы...»*

*(В.Войнович. Песня Гагарина)*

Развитие цивилизаций, даже само их существование и выживание тесно связаны с прогрессом науки и техники, распространением исследований на новые отрасли знаний и территории. Любое сообщество или форма жизни вообще всегда стремятся к своему распространению, иначе начинается процесс самоуничтожения и возникает угроза вымирания. Научно-технический прогресс позволяет увеличить материальные ресурсы, однако это способствует размножению, что опять требует новых территорий. Но ведь их количество на планете не безгранично и неоднородно по качеству, хотя возможности для улучшения условий всегда есть, их можно и нужно искать, уменьшая тем самым остроту будущих демографических, экономических и экологических кризисных явлений.

Однако, существует другая важная стратегическая перспектива, а именно: выход человечества в открытый космос с его океаном энергии, разнообразных минеральных ресурсов и других возможностей. Как и во времена больших географических открытий, этот существенный прорыв на новые территории может предоставить человечеству новый качественный рост и буквально спасти его от деградации. Ведь сейчас человечество вследствие процессов глобализации уже начинает чувствовать угнетение духовного и творческого потенциала. Это ведёт к превращению социальных групп в образования, похожие на ги-

перстада дикой природы, поскольку происходит вырождение сознания всё возрастающего количества населения стран мира под влиянием пропаганды массовой культуры потребления различного материального ширпотреба и вульгаризации духовной сферы.

Однако, проблема исследования и освоения космического пространства кардинальным образом отличается от, например, захвата европейской цивилизацией благодатных территорий, населённых другими народами с их богатствами, как это случилось в истории порабощения ацтеков, народов майя, империи инков, индейцев Америки и других колоний Азии, Африки, Австралии и Океании. Ведь космическое путешествие – чрезвычайно суровое и опасное испытание для путешественников, поскольку необходимо будет пройти сквозь холод и вакуум, прежде чем достичь более приемлемых, но тоже тяжёлых условий ближайших небесных тел (Марс, Венера, спутники больших планет). Прибывших будет ждать тяжёлый труд в течение многих столетий, прежде чем условия жизни станут хотя бы немного похожи на земные. Но такие путешествия – насущная необходимость уже сегодня. Именно они дадут выход неудержимой энергии человечества, обеспечат его ресурсами, вселят надежду на выживание в будущем миллиардам жителей Земли и позволят уменьшить в перспективе антропогенную нагрузку на дикую (живую и неживую) природу планеты, на которой всё только и держится.

Наиболее близкой и самой перспективной планетой для колонизации по мнению некоторых исследователей, в том числе - автора этой книги, является Венера. В отличие от Марса, сила тяжести на ней близка земной, солнечной энергии тут даже больше, чем на Земле, есть мощная атмосфера (даже со слабым озоновым слоем). Но, как и Марс, Венера практически не имеет магнитного поля, зато выгодно отличается от него мощным вулканизмом, который даже превосходит земной. Фактически эту планету можно назвать сестрой Земли, которая возможно пребывает на более ранней стадии своего развития, чем наша планета. Тогда на ней ещё не было кислородной оболочки и почти вся атмосфера состояла из углекислого газа с примесями некоторых других газов (сероводород, метан, водяной пар и т.п.).

Такой состав на Земле был в раннюю Архейскую эру (приблизительно 4 млрд. лет тому назад). Орбита Венеры является почти круговой, в отличие от Марса с его вытянутой эллиптической орбитой. Это и большая близость к Земле значительно упрощает решение проблемы перелётов в сравнение с традиционно более популярным маршрутом в направлении красной планеты.

Далёкая перспектива Венеры – создание на её поверхности подходящих условий для жизни (температура, прозрачная кислородная атмосфера, озоновый слой и мощное магнитное поле – последние два фактора чрезвычайно важны для защиты планеты от смертоносной космической радиации). Если не удастся раскрутить Венеру, магнитное поле можно создать, проложив вдоль экватора сверхпроводящее кольцо-соленоид. Прозрачность атмосферы возникнет после затвердевания её углекислого газа, если в первой точке Лагранжа образовать полупрозрачное облако, которое перекроет часть потока солнечного излучения. Тогда температура и давление упадут от пятисот градусов и сотни атмосфер до нормальных, которые сейчас имеются на Венере лишь на высотах, близких 50-60 км.

Книга состоит из введения, трёх разделов и приложений. Введение кратко повествует об истории исследований ближайших к Земле планет и знакомит с некоторыми особенностями межпланетных перелётов. Однако, главными лейтмотивами этой книги являются водород и Венера. Первый раздел посвящается описанию условий на Венере, проблеме использования водородных аэростатов для жизни в атмосфере этой планеты, а также существующим на сегодня техническим возможностям для перелётов людей на Венеру и возвращения на Землю. Хотя сегодня преобладает мысль, что Венера непригодна для жизни и главным объектом будущей экспансии человечества в космос является Марс, автор этой книги убеждает, что это не так и нужны одновременные пилотируемые исследования обеих планет. При этом Венера даже более значима, поскольку ближе и, что главное, сила тяжести на ней почти такая же, как и на Земле.

Второй раздел освещает свойства водорода и перспективы его использования. Это удивительное вещество лежит в основе мироздания, играет важную роль в народном хозяйстве, научных и прикладных исследованиях. И хотя водородная энергетика

сегодня только набирает свои обороты, но именно за ней – будущее человечества.

Третий раздел книги объясняет, зачем и как нужно исследовать и колонизировать Венеру. Обсуждаются вопросы возможной роли гидридного ядра в тектонических процессах планет земной группы. Тогда, исследовав мощный вулканизм Венеры, мы сможем лучше понять и современные геологические превращения. Гениальное предвидение В.И. Вернадского о роли водорода и его соединений в сложной динамике тектонических движений, влиянии глубинной водородной дегазации на климат и биосферу, образование и существование оболочек Земли (атмосфера, гидросфера, кора, литосфера и др.) сегодня приобретает всё большую актуальность в связи с разработками таких учёных как В.Н. Ларин, В.Л. Сывороткин и других. И тут Венера могла бы сказать своё слово, поскольку отсутствие на ней океанов облегчает исследование поверхностных тектонических явлений.

Приложения книги содержат информацию о двигателях мощных ракет, космических челноках и краткую информацию о их Генеральных конструкторах. Вся эта техника уже сегодня позволила бы начать реализацию описанных в книге проблем. Отдельное место занимает Ю.В. Кондратюк (А.И. Шаргей) – талантливый инженер-самоучка, который стоял у идейных истоков решения проблемы полётов к близким космическим телам. Эта легендарная личность и в наше время вызывает большой интерес людей, а специалисты продолжают изучать конкретные технические идеи, не все из которых реализованы даже сегодня.

Ю.В. Кондратюк одним из первых обратил внимание на уникальность водорода как ракетного топлива, предложил использовать некоторые металлы как твердотопливное ракетное горючее. Его схема пилотируемого полёта к Луне оказалась наиболее экономной (сегодня известна как трасса Кондратюка). Она была использована в американской программе «Аполлон». Однако, непростая проблема пилотируемых полётов (с человеком на борту) до ближайших планет, над решением которой одним из первых инженеров размышлял Юрий Кондратюк, и сегодня ещё только ждёт своей реализации.

Автор выражает признательность друзьям-спонсорам книги из Украины, Израиля и Швейцарии за финансовую поддержку, издательской группе за вёрстку, редактирование и печать, руководителю и сотрудникам сайта [buran.ru](http://buran.ru), космическим агентствам Роскосмос и NASA, а также астрономам-любителям за прекрасные фотографии и важную информацию, использованные в этой книге. Везде, где это удавалось, автор старался делать ссылки на соответствующие источники.

## Введение. История исследований Венеры и других планет земной группы

*«А я сяду край віконця та й буду чекати:  
Десь поїхав мій миленький іншої шукати»  
(Украинская народная песня)*

### А) Венера



Рис.1. Фото Венеры в природном свете. Её орбита – эллипс. На начало 2000 года перигелий орбиты:  
107476259 км или  
0,71843270 а.о.;  
афелий:  
108942109 км или  
0,72823128 а.о.  
Большая полуось:  
108208930 км  
Эксцентриситет орбиты:  
0,0068.

Наклонение к эклиптике:  $3,3946^\circ$ . Период вращения: сидерический (звёздный) 224,698 земных суток; синодический (солнечный, т.е. повторение фаз на земном небе) 583,92 земных суток. Радиус планеты 6052 км (точность до 1 км); масса

$4,8685 \cdot 10^{24}$  кг (0,815 земной); ускорение свободного падения  $8,87 \text{ м/с}^2$  (0,904 g). Орбитальная скорость: 35,02 км/с; вторая космическая 10,46 км/с. Атмосфера вращается за 4 земных суток (средние ветра 100 м/с, но возле поверхности меньше, чем 1 м/с) и прозрачна на длинах волн 1-1,2 мкм, простирается до высот 250 км, облачность 30-60 км, значительно выше – в основном водород. Давление возле поверхности составляет 93 атм., температура  $475^\circ\text{C}$ . Освещённость вблизи поверхности 0-3000 люкс, ясных дней не бывает, в среднем - 350 лк (для сравнения, при полной Луне на Земле 1 лк, хмурый день на Земле 1000 лк, ясный день 10-25 тыс. лк). Озоновый слой имеется на высоте 100 км, но он на порядок слабее земного, магнитное поле планеты практически отсутствует (есть слабые местные поля). Данные взяты из [2,6].

Полёт до ближайшей планеты означает выход за пределы сферы действия Земли, т.е. придания аппарату скорости, близкой второй космической. Дальше он становится искусственной планетой. Как уже отмечалось, наиболее близкой планетой к нам является Венера. Поэтому следующие по сложности полёты после лунных, в первую очередь – автоматических космических аппаратов, естественно были именно к Венере. Поскольку она находится ближе к Солнцу, чем Земля, то переход на более низкую и круговую орбиту оказывается проще, чем, например, полёт на Марс. Для этого после выхода корабля из сферы действия Земли нужно погасить часть скорости, связанной с движением Земли вокруг Солнца. Пилотируемый облёт ближайшей планеты с возвращением тоже очевидно наиболее простой для Венеры среди других планет. Такую экспедицию в своё время детально разрабатывали в США после успешных полётов кораблей «Аполлон» и опыта создания орбитальной станции «Skylab» на базе топливного бака ракеты «Сатурн-5». Планы советской космической программы были нацелены преимущественно на полёт к Луне и Марсу, однако неудачи с мощной ракетой-носителем Н-1 и другие причины сделали эти планы тогда неосуществимыми.

При полёте космического корабля от Земли и его приближении к сфере действия Венеры по наиболее выгодной гомановской траектории входение происходит с гиперболической скоростью. Рис.2 иллюстрирует способ двухимпульсного перехода на заданную круговую орбиту (3) с произвольной орбиты (1), которая попадает в сферу действия Венеры. Первый тормозной импульс переводит аппарат на эллипс (2), а второй (ускоряющий) – на круговую орбиту (3). Возможен и одноимпульсный вариант (4), если удаётся сразу затормозить аппарат в соответствующей точке до требуемой для круговой орбиты скорости (3). После стабилизации на заданной круговой орбите можно решать задачу о входении спускаемого аппарата в атмосферу планеты.

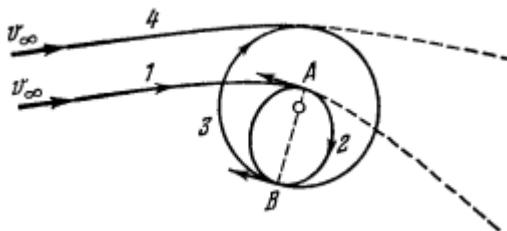


Рис.2. Переход с гиперболической орбиты (1) при подлёте к планете тормозным импульсом в точке А на эллипс (2). Добавочный импульс в точке В переводит космический аппарат на заданную круговую орбиту (3).

Сначала ученые надеялись встретить на Венере жизнь, похожую на земную в эпоху каменноугольного периода Палеозойской эры (см. фильм «Планета бурь», 1961 г., снятый по одноимённому роману А. Казанцева). Коротко остановимся на том, что об этой таинственной планете известно сегодня. Венера – вторая по удалённости от Солнца планета и третий по яркости после Солнца и Луны объект на нашем звёздном небе. Она относится к числу планет, с давних пор известных человеку. Исследования выявили, что эллиптическая орбита Венеры близка круговой со средним солнечным расстоянием 108 млн. км. Наименьшее расстояние от Венеры до Земли – немного больше 40 млн. км, что почти в два раза меньше такого же расстояния до

Марса. Необычной особенностью Венеры является то, что она вращается вокруг своей оси с востока на запад, т.е. в направлении, противоположном вращению других планет (кроме Урана). Один оборот вокруг оси длится 243,02 земных суток. Такое медленное вращение привело к почти полностью сферической форме Венеры в период её формирования. Удивительным также является и то, что в каждом нижнем соединении (ближе к Земле) она обращена к нам одной и той же стороной. Это объясняют как раз влиянием на Венеру нашей планеты (Луна также обращена к Земле одной стороной, поскольку вследствие приливных сил её вращение вокруг собственной оси за сотни миллионов лет синхронизировалось с вращением вокруг планеты). По размерам и массе Венера больше других планет похожа на Землю. Она также является ближайшей к Земле. Однако, исследования её поверхности были начаты относительно недавно, поскольку от человеческого глаза поверхность планеты надёжно скрыта плотной атмосферой с мощными облаками.

Атмосфера Венеры почти полностью состоит из углекислого газа (96%) и азота (<4%). Водяной пар и кислород присутствуют в незначительных количествах. Давление возле поверхности составляет 93 атм., а температура +464°C. Это превышает температуру поверхности Меркурия, который в два раза ближе к Солнцу. Принято считать, что причина этого – парниковый эффект, который создаётся плотной углекислотной атмосферой.

Плотность атмосферы Венеры всего в 14 раз меньше плотности воды. Поэтому, вследствие её большой теплоёмкости и несмотря на медленное вращение планеты, разность температур между дневной и ночной сторонами незначительна. Практически вся атмосфера Венеры образует один гигантский вихрь, который движется вокруг тела планеты со скоростью 120-140 м/с возле верхней границы облаков. Причина этого пока ещё не ясна (на Юпитере также постоянно действует мощный вихрь – Красное Пятно). Облака размещаются на высоте 30-60 км и образуют несколько слоёв. Их химический состав пока не изучен полностью. Учёные считают, что облака состоят преимущественно из капель концентрированной серной кислоты, соединений серы и хлора. Измерения, проведенные с космических аппаратов, показали, что они не очень густые и скорее похожи на однородный

туман. Эти факты вызвали разочарование исследователей, имевших надежду, что на этой похожей на Землю планете условия будут близкими земным во времена каменноугольного периода. Высказывались также надежды на существование биосферы, похожей на земную. Первые определения температуры будто бы оправдывали эти ожидания, но потом данные аппаратов засвидетельствовали, что из-за парникового эффекта вблизи поверхности Венеры невозможно существование воды в жидком состоянии.

Исследования рельефа поверхности Венеры стало возможным, благодаря развитию радиолокационных методов. Одну из наиболее детальных карт составил американский аппарат «Магеллан», который сфотографировал 98% поверхности планеты. Картографирование позволило обнаружить на Венере значительные территории-возвышения. Наибольшие из них – Земля Иштар и Земля Афродиты. Они близки по размерам земным материкам. На поверхности планеты также найдены многочисленные кратеры. Вероятно они образовались, когда атмосфера Венеры была не такой плотной. Предложено несколько моделей внутреннего строения Венеры. Согласно одной из наиболее реалистичных, на Венере есть три оболочки. Первая – кора толщиной примерно 16 км. Дальше идёт мантия - силикатная оболочка до глубин 3300 км, которая граничит с металлическим ядром. Масса последнего составляет примерно 25% массы планеты.

Исходя из нынешних тенденций, человечеству придётся обживать ближайшие к Земле небесные тела. В первую очередь ими будут Луна, Марс и ... Венера. На первый взгляд, условия жизни для людей на Венере, учитывая изложенное выше, представляются абсолютно неприемлемыми. Однако, в отличие от Луны и Марса, где сила тяжести в несколько раз меньше земной, на Венере она почти такая же, как и на нашей планете. Кроме этого, как уже отмечалось, среди планет Венера ближайшая к Земле. Поэтому на десятки миллионов лет, пока Солнце не поглотит и Венеру, и Землю, эту планету можно рассматривать одним из главных (если не главным) кандидатом для колонизации.

Для уменьшения температуры на её поверхности (а соответственно – и давления атмосферы) учёные предлагают частично

заэкранировать планету от солнечных лучей. Тогда свыше 90 % атмосферы выпадет на её поверхность в виде твердой углекислоты, парниковый эффект исчезнет и Венера постепенно начнёт приобретать приемлемые для жизни условия. Проблему отсутствия воды можно решать направлением к планете астероидов, содержащих лёд, а в меньших объёмах – производством воды из кислорода и водорода. При этом их тоже еще нужно добыть, для чего потребуются много энергии. Но, благодаря близости Солнца, её здесь даже больше, чем на Земле, и для колонизации будет вполне достаточно.

Вращение Венеры можно ускорить теми же астероидами, если они будут падать по касательной к поверхности в направлении её вращения. При этом магнитное поле планеты, которое сейчас почти отсутствует и не защищает от радиации, может возрасти до приемлемых величин, благодаря схожести её внутренней структуры с Землёй. Но такие проекты – скорее из области фантастики. По видимому, более реалистично будет исходить из нынешнего вращения, а магнетизм и воду создавать самостоятельно. Понятно, что такие работы могут происходить многие сотни лет, если человечество найдёт в себе силы и мобилизует соответствующие природные и людские ресурсы.

Можно отметить, что одним из астероидов-кандидатов для снабжения водой является Клеопатра (размер 150 км, масса  $5 \cdot 10^{18}$  кг), которую еще нужно будет предварительно измельчить. Правда, этот астероид значительно проще доставить на Марс – там тоже с водой будут проблемы, поскольку орбита этой малой планеты не доходит даже до земной, а вот орбиту Марса - пересекает. Однако, на сегодня возможности человечества в космосе являются более, чем скромными. Но и до серьёзных земных катаклизмов (экология, удары из космоса) ещё далеко. Во всяком случае – будем на это надеяться.

Возможности размещения солнечного экрана между Венерой и Солнцем не представляются такими уж фантастическими. Дело в том, что ещё выдающийся французский математик Жозеф Луи Лагранж в рамках ограниченной задачи трёх тел доказал существование пяти областей вокруг соответствующих точек (точки либрации, рис.3). Такое синхронное вращение тонкого

защитного солнечного экрана в точке либрации  $L_1$  системы Солнце-Венера могло бы стать началом решения проблемы её

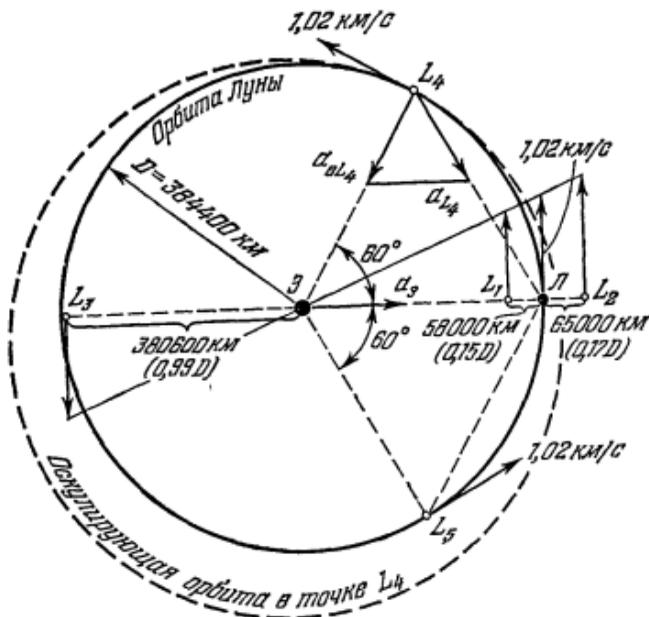


Рис.3. Точки либрации ( $L_1$ - $L_5$ ) для третьего тела в системе Земля-Луна, где оно синхронно вращается вместе с этими двумя массивными телами. При этом земному или лунному наблюдателям кажется, что тело висит неподвижно [1].

колонизации. Правда, положение третьего тела является неустойчивым, поэтому колонистам периодически пришлось бы «исправлять» ситуацию.

Колонизацию Венеры можно начинать с высот 50-100 км (температуры близки  $0^{\circ}\text{C}$ , давления 1-0,1 атм) на больших аэростатах. На верхнем пределе этого промежутка Венера имеет озоновый слой. Правда, он значительно уступает земному. Но и это (вместе с оболочкой аэростата) явилось бы защитой от радиации. Энергии будет вполне достаточно от солнечных батарей, а из атмосферной углекислоты можно добывать кислород и углерод. Облака серной кислоты и сам атмосферный воздух обеспе-

чат колонистов водородом (а значит – и водой). На такой станции гравитация будет близка земной.

Решение проблемы перегрева планеты путём её экранирования от лучей Солнца с использованием первой точки либрации может *стать актуальным и для землян*, причём не только в далёком будущем. Поэтому, космические технологии сегодня нужно обязательно развивать для того, чтобы быть в состоянии решать в будущем такие масштабные проекты, как этот, или защита от падения опасного астероида, а также обеспечение планеты водой и другими жизненно важными веществами. Уже сегодня точка Лагранжа  $L_2$  (1,5 млн. км от Земли) системы Солнце-Земля используется для исследования излучений далёких космических объектов (кварзары, чёрные дыры, ядра галактик) с помощью криогенных сверхчувствительных приборов. Там размещены два спутника (ПЛАНК и ГЕРШЕЛЬ), которые могут наблюдать Солнце, Луну и Землю одновременно. При этом последние не мешают исследовать противоположную относительно Земли часть небесной сферы.

Табл.1. Список успешных запусков не пилотируемых аппаратов до Венеры [2]:

<b>Страна</b>	<b>Название</b>	<b>Запуск</b>	<b>Содержание миссии</b>
СССР	Венера-1	12.02 1961	Первый пролёт возле Венеры. Потеря связи. Программа не выполнена
США	Маринер-2	27.08 1962	Пролёт Венеры. Научная информация получена
СССР	Зонд-1	2.04 1964	Пролёт Венеры. Собрана научная информация
СССР	Венера-2	12.11 1965	Пролёт Венеры. Собрана научная информация
СССР	Венера-3	16.11 1965	Достижение Венеры. Получена важная научная информация
СССР	Венера-4	12.06 1967	Атмосферные исследования и попытка достижения поверхности

Страна	Название	Запуск	Содержание миссии
			сти (аппарат раздавлен давлением, о котором до этого не было известно)
США	Маринер-5	14.06 1967	Пролёт с целью исследования атмосферы
СССР	Венера-5	5.01 1969	Спуск в атмосфере, определение её химического состава
СССР	Венера-6	10.01 1969	Спуск в атмосфере, определение её химического состава
СССР	Венера-7	17.08 1970	Первая мягкая посадка на поверхность планеты. Научная информация
СССР	Венера-8	27.03 1972	Мягкая посадка. Пробы грунта
США	Маринер-10	4.11 1973	Пролёт до Меркурия, научные исследования
СССР	Венера-9	8.06 1975	Мягкая посадка модуля и искусственный спутник Венеры. Первые чёрно-белые фотографии поверхности
СССР	Венера-10	14.06 1975	Мягкая посадка модуля и искусственный спутник Венеры. Чёрно-белые фотографии поверхности
США	Пионер-Венера-1	20.05 1978	Искусственный спутник, радиолокация поверхности
США	Пионер-Венера-2	8.08 1978	Вхождение в атмосферу, научные исследования
СССР	Венера-11	9.09 1978	Мягкая посадка модуля, пролёт аппарата
СССР	Венера-12	14.09 1978	Мягкая посадка модуля, пролёт аппарата
		30.10	Мягкая посадка модуля. Первая

<b>Страна</b>	<b>Название</b>	<b>Запуск</b>	<b>Содержание миссии</b>
СССР	Венера-13	1981	запись звука на поверхности и первая цветная передача панорамного изображения
СССР	Венера-14	4.11 1981	Мягкая посадка модуля. Цветная передача панорамного изображения
СССР	Венера-15	2.06 1983	Искусственный спутник Венеры, радиолокация
СССР	Венера-16	7.06 1983	Искусственный спутник Венеры, радиолокация
СССР	Вега-1	15.12 1984	Исследования атмосферы зондом-аэростатом, пролёт аппарата до кометы Галлея
СССР	Вега-2	21.12 1984	Исследования атмосферы зондом-аэростатом, пролёт аппарата до кометы Галлея
США	Магеллан	4.05 1989	Искусственный спутник Венеры, очень детальная радиолокация
США	Галилео	18.10 1989	Пролёт на пути до Юпитера (гравитационный манёвр), научные исследования
США	Кассини-Гюйгенс	15.10 1997	Пролёт на пути до Сатурна
США	Мессинджер	3.08 2004	Пролёт на пути до Меркурия, фото на расстоянии
ЕКА	Венера-экспресс	9.11 2005	Искусственный спутник Венеры, радиолокация южного полюса
Япония	Акацуки	7.12 2010	Выход на орбиту запланирован в 2015 году

Перспективным способом полёта к ближайшей планете является использование космического паруса. На земной орбите максимальное давление солнечного света на  $1\text{ м}^2$  зеркала составляет  $8,6 \cdot 10^{-6}$  Н. Поэтому понятно, что для заметных ускорений нужны значительные площади. Например, расчёты свидетельствуют, что аппарат в 500 кг с парусом диаметром  $300\text{ м}^2$  из плёнки с поверхностной плотностью  $0,2\text{ мг/см}^2$  достигает Марса при движении по эллиптической траектории за 286 суток. Парус ближе к Солнцу становится более эффективен, поэтому полёт до Венеры оказывается в несколько раз короче.

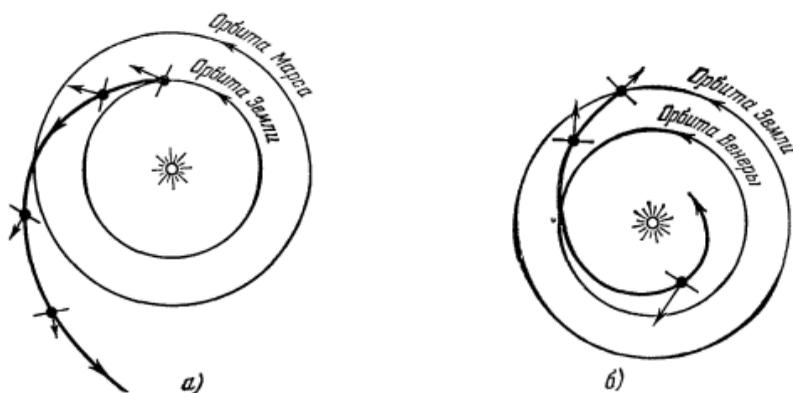


Рис.4. Схемы полётов с космическим парусом до ближайших планет: а) до Марса; б) до Венеры [1].

После выхода корабля за пределы сферы действия Земли полёт с этим слабым двигателем значительно упрощается (парус, как и электродвигатели со слабой реактивной тягой, позволяет также выход с низкой орбиты за пределы сферы действия постепенным раскручиванием по спирали). Рис.4 иллюстрирует возможности перелётов до Венеры и Марса и необходимые углы ориентирования паруса. Хотя тяга такого двигателя относительно мала, а время полёта оказывается большим из-за длительного маневрирования, однако для автоматических аппаратов небольшой массы перспективность очевидна: ведь такие ко-

смические корабли вообще не требуют топлива и могут совершать манёвры как угодно долго.

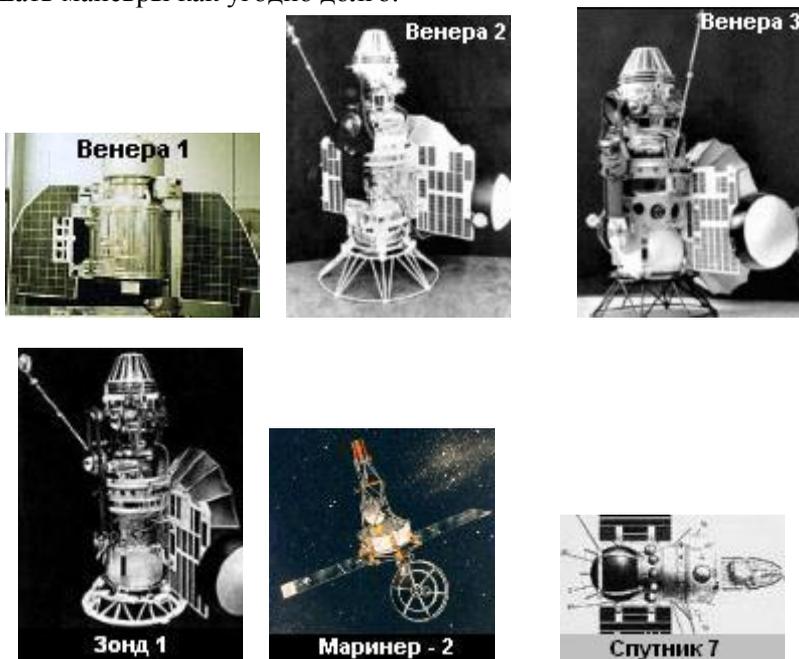


Рис.5. Фотографии некоторых из первых аппаратов, запущенных для исследования внутренних планет и Солнца (см. табл.1).

Среди последних запланированных миссий до Венеры можно отметить проект «Венера-Д» (Россия). Запуск запланирован на 2024 год (раньше был на 2016-2018, см. дальше раздел о перелёте до Венеры). Ракета-носитель «Протон» (или её безгептиловый вариант «Ангара») стартует с космодрома Байконур. Масса корабля - 12 т, питание от солнечных батарей. Длительность полёта составит 5 месяцев, срок активной миссии 1 год. Целью миссии будут исследования атмосферы Венеры и её поверхности для продолжения работ, выполненных «Магелланом». «Венера-Д» будет первым венерианским зондом, запущенным Российской Федерацией после распада СССР. Конкретные задачи – исследование состава атмосферы и материалов поверхно-

сти Венеры, выявление причин исчезновения воды с её поверхности.

В состав корабля «Венера-Д» войдут: орбитальный блок, спускаемый аппарат и, как минимум, два гелиевых аэростатных зонда. С орбитального блока, который будет работать на орбите Венеры длительное время, будут запущены два аэростатных зонда. Один из них будет находиться на высоте 55—60 км (над облаками), а другой — под облаками, т.е. на высотах 45—50 км. Срок работы зондов — более недели. Долговременный спускаемый аппарат должен проработать на поверхности планеты хотя бы несколько дней. За это время аппарат передаст на Землю всю необходимую информацию. На тот случай, если миссию «Венера-Д» обеспечат ракетой среднего класса «Зенит», к уже запланированной аппаратуре может быть добавлен итальянский радар. Если же носителем будет тяжёлый «Протон-М», в состав экспедиции войдёт дрейфующий зонд (вертолёт), который в течение месяца будет функционировать на высотах 45—50 км.

В этом проекте обсуждалось также возможное участие Европейского космического агентства (ESA) и Франции. В 2009 году срок запуска сместился с 2016 на 2018 год, а в новой программе, которая может стать частью российской Стратегии развития космонавтики, его отложили ещё дальше. В будущем планируется создать комплексную станцию «Венера-Глоб», задачей которой будут всесторонние исследования Венеры. В её состав войдут:



орбитальный аппарат, венерианская станция, аэростатные зонды и, возможно, венероход.

Рис.6. Атмосфера Марса (фото с орбитального спутника «Викинг», 1976 г.). На поверхности планеты хорошо видно кратер Смайлик.

## **Б) Марс и другие**

Советская программа подготовки пилотируемого полёта на Марс, рассекреченная только в 90-х годах, планировала основательное изучение этой проблемы и поиск путей её решения. Полёт был запланирован на середину 70-х и утверждён специальным постановлением ЦК КПСС. Можно утверждать, что его реализации очень помешала смерть С.П. Королёва, неудачи с ракетой Н-1 (временные) и нежелание доводить её до рабочего состояния новым Генеральным конструктором (1974 год), который закрыл этот проект с молчаливого согласия правительства. Повлияла на выбор пути развития и гибель космонавтов: Юрия Гагарина – одного из вероятных кандидатов, Владимира Комарова, Александра Волкова, Георгия Добровольского, Виктора Пацаева. Страх опять потерять людей, чувство ответственности за принятие решения тоже, возможно, повлияли на этот нелёгкий выбор. И, конечно, чрезвычайно большие финансовые затраты, которые постоянно тяжёлым бременем ложились на простых людей. По оценкам зарубежных экспертов, советская космическая программа на начало 70-х уже стоила около 50 млрд. \$ США.

Готовые к новым испытаниям гигантские ракеты были сняты со стартовых площадок и позже уничтожены (некоторые из двигателей КБ Кузнецова позже закупила NASA). Новый Генеральный конструктор В.П. Глушко настоял, чтобы вместо, по его мнению, морально устаревшей ракеты делать с нуля новую, более мощную, перспективную и надёжную. Она через полтора десятилетия действительно была создана, но с развалом СССР «Энергию» ждала почти такая же участь, что и Н-1. Потеря времени и усилий предшественников – не самый лучший путь к успеху, как учит нас исторический опыт. По видимому, можно было делать ракету и с менее мощными (в сравнение с ракетой «Сатурн-5») двигателями КБ Кузнецова, которые постепенно были, всё же, доведены до прекрасного состояния.

Очевидно, что в ситуации с полётами на Луну и Марс в управлении советской космической программой возникло состояние коллективной безответственности, когда не нашлось

группы волевых и компетентных руководителей масштаба С.П. Королёва, которые бы не испугались идти по уже намеченному пути, когда возникли, казалось бы, непреодолимые трудности и довели бы дело до конца. Без сомнения, пугала и большая стоимость проекта. Но ведь значительные суммы уже были потрачены, а лунная гонка – проиграна (вернее – её первый этап). Интересно, что в 80-х годах перед началом успешных полётов ракеты «Энергия» был период, очень похожий на «топтание на месте» ракеты Н-1 (к счастью, наученные горьким опытом, трудности преодолевали на стендах, а не в реальных пусках, поэтому огромных затрат удалось избежать, см. Приложение о создании ракетных двигателей Р-170 и водородного). Были разговоры о замене стратегии и возврате к схеме с менее мощными двигателями Кузнецова, с которым об этом даже велись переговоры. Однако, уверенная настойчивость В.П. Глушко, подкреплённая собственным и американским опытом успешного применения мощных двигателей, всё же, победила. Но потом наступили времена «ускорения и перестройки», экономии средств, поэтому с распадом СССР амбициозные проекты главных космических игроков оказались отложенными на неопределённое время. Полёты сверхдорогой «Сатурн-5» также прекратились (последним стал полёт с выведением на низкую орбиту 78-тонной станции Skylab, 14 мая 1973 г.-11 июля 1979 г., после 1974 г. экипажи на станцию не посылались).

Табл.2. Даты великих противостояний Марса.

Дата	19.09 1830	18.08 1845	17.07 1860	5.09 1877	4.08 1892	24.09 1909	23.08 1924
Расстояние а.е.	0,388	0,373	0,393	0,377	0,378	0,392	0,373

Дата	23.06 1939	10.09 1956	10.08 1971	22.09 1988	28.08 2003	27.07 2018	15.09 2035
Расстояние а.е.	0,390	0,379	0,378	0,394	0,373	0,386	0,382

Табл.3. Список миссий космических аппаратов до Марса («Космосы», «Зонды», «Марсы» – СССР; «Фобос-Грунт», «Марс-9б» – Россия; «Nozomi» – Япония; «Марс-Экспресс» – ЕКА Объединённой Европы; все остальные – США) [2].

### **1. Успешные миссии (завершены):**

- «Маринер-4» — 1964 год (фотографирование с пролётной траектории). «Маринер-6» и «Маринер-7» — 1969 год (фотографирование с пролётной траектории).
- «Маринер-9» — 1971 год (первый искусственный спутник Марса, картографирование поверхности).
- АМС «Викинг» и АМС «Викинг-2» — 1976—1982 годы. Первая успешная работа аппарата на поверхности Марса.
- «Марс Глобал Сервейер» — с 1996 по 2006 год. Картографирование Марса с его орбиты.
- «Марс Пасфайндер» — 1996 год. Первый успешный марсоход.
- «Феникс» — 2007 год. Анализ грунта в полярном регионе.
- «Спирит» — 2004—2010 годы. Изучение структуры грунта и много другой информации.

### **2. Частично успешные миссии (завершены):**

- «Марс-1» — 1962 год. Впервые получены данные о физических свойствах космического пространства между орбитами планет Земля и Марс. 21 марта 1963 года радиосвязь с зондом была утрачена. В этот момент «Марс-1» был у 108 млн. км от Земли, но успел передать важную информацию о свойствах межпланетного пространства на больших расстояниях.
- «Марс-2» - запуск 19 мая 1971 года. 27 ноября 1971 года первый искусственный объект на поверхности Марса. Жёсткая посадка, аппарат разбился о поверхность.
- «Марс-3» - запуск 28 мая 1971 года. 2 декабря 1971 года первая в истории космонавтики мягкая посадка на поверхность Марса, но утрачена связь с посадочным модулем через 20 сек после посадки. Однако, орбитальный модуль

станции «Марс-3» продолжил исследования Марса с орбиты вплоть до окончания азота в системе ориентации и стабилизации 23 августа 1972 года.

- «Марс-4» — 21 июля 1973 года. Получены 12 фото поверхности с пролётной траектории. Не сработали тормозные двигатели.
- «Марс-5» — 12 февраля 1974 года. Вышел на околомарсианскую орбиту. Получены фото поверхности. Разгерметизация приборного отсека, работал 14 дней.
- «Марс-6» — 12 марта 1974 года. Аппарат достиг поверхности Марса. Утрачена связь сразу после посадки.
- «Фобос-2» — 1988 год. Вышел на околомарсианскую орбиту, фото поверхности Марса и другие научные данные. После сближения с Фобосом связь была утеряна.

### **3. Неудачные миссии:**

- «Марс 1960А» — 1960 год. Авария ракеты-носителя.
- «Марс 1960В» — 1960 год. Авария ракеты-носителя.
- «Марс 1962А» — 1962 год. Не сработала ступень разгона после выведения на низкую орбиту.
- «Марс 1962В» — 1962 год. Не сработала ступень разгона.
- «Маринер-3» — 1964 год. Не попал в сферу действия Марса, не раскрылись солнечные батареи.
- «Зонд-2» — 1964 год. Не попал в сферу действия Марса.
- «Марс 1969А» — 1969 год. Авария ракеты-носителя.
- «Марс 1969В» — 1969 год. Авария ракеты-носителя.
- «Маринер-8» — 1971 год. Авария ракеты-носителя.
- «Космос-419» — 1971 год. Не сработала ступень разгона.
- «Марс-7» — 1973 год. Спускаемый аппарат не попал на Марс.
- «Фобос-1» — 1988 год. Утрачена связь.
- «Марс Обсервер» — 1992 год. Утрачена связь.
- «Марс-96» — 1996 год. Не сработала ступень разгона.
- «Нодзоми» — 1998 год. Не удалось вывести на орбиту Марса.
- «Марс Климат Орбитер» — 1999 год. Авария при попытке выведения на орбиту Марса.

- «Марс Полар Лендер» — 1999 год. Авария при посадке.
- «Дип Спейс-2» — 1999 год. Утрачена связь после входа в атмосферу).
- «Бигль-2» — 2003 год. Посадочный модуль «Марс-экспресс». Не вышел на связь после посадки.
- «Фобос-Грунт» — 2011 год. Не смог оставить земную орбиту вследствие несрабатывания ступени разгона. Сгорел в густых слоях атмосферы Земли.
- «Инхо-1» — 2011 год. Должен был быть доставлен к Марсу той же ракетой, что и «Фобос-грунт».

#### **4. Активные сейчас миссии:**

На орбите Марса находятся три активно работающие станции:

- «Марсианский спутник-разведчик».
- «Марс-экспресс» с радаром «Marsis».
- «Марс Одиссей».

На поверхности планеты работают марсоходы:

- «Опортьюнити» (с 25 января 2004 года) в рамках программы «Mars Exploration Rover».
- «Кьюриосити» (с 6 августа 2012 года) в рамках программы «Mars Science Laboratory».

#### **5. Запланированные миссии:**

- «МАНЕН» — аппарат НАСА, запланирован к запуску в 2013 год, для исследований атмосферы.
- Марсианский научный орбитальный аппарат — запуск в январе 2016 года.
- В 2018 году на поверхность Марса должна быть высажена европейская передвижная лаборатория, которая, в частности, проведёт бурение для анализа горных пород.
- «Фобос-Грунт 2» — вторая запланированная российская автоматическая межпланетная станция (АМС), предназначена для доставки образцов грунта с природного спутника Марса, Фобоса, на Землю.
- В провинции Рио-Тинто на юге Испании на «красных холмах» из ярозита проводятся испытания прототипов европейских марсоходов (Eurobot) и скафандров.

Марс больше удалён от Земли, чем Венера, однако в периоды великих противостояний (табл.2) это расстояние значительно уменьшается, как и при других сближениях, когда Земля догоняет Марс (время между сближениями – синодический период – составляет 780 суток). Синодический период  $S_n$  для любой планеты можно вычислить, воспользовавшись формулами:

$$\frac{1}{S_n} = \frac{1}{S_d} - \frac{1}{E} \text{ - для нижних ; } \frac{1}{S_n} = \frac{1}{E} - \frac{1}{S_d} \text{ - для верхних}$$

планет, где  $S_d$  - сидерический (относительно звёзд) период данной планеты,  $E$  – земной сидерический период (звёздный год).

Рассмотрим некоторые времена возможных пилотируемых экспедиций к Марсу, Венере и другим планетам. Полёт на Марс с возвращением к Земле наиболее экономной траекторией (гомановские эллиптические орбиты) длится 2,5 года (перелёты по 258 суток и 450 суток пребывания на Марсе). Значительно короче будет экспедиция с параболическими траекториями. Она составляет всего полгода (перелёты по 70 суток и 13 суток на Марсе). Однако, в последнем случае необходимые скорости, а значит – и затраты топлива, будут значительно большими. Важно отметить, что до Венеры (146 суток) и Меркурия (105 суток) можно прямо перелететь только по эллипсу.

Сроки перелётов к другим планетам будут такие:

- Юпитер: 2 года 267 суток (эллипс); 1 год 39 суток (парабола).
- Сатурн: 6 лет 18 суток (эллипс); 2 года 194 суток (парабола).
- Уран: 16 лет 14 суток (эллипс); 6 лет 282 суток (парабола).
- Нептун: 30 лет 225 суток (эллипс); 12 лет 343 суток (парабола).

Существуют также интересные траектории комбинированных перелётов с гравитационными манёврами (например, рис.7). Они уже с успехом применялись NASA на практике для полётов автоматических аппаратов сразу к нескольким планетам.

Табл.4. Космические скорости ракеты, стартовой от Земли:

Скорость	Первая	Вторая	Третья	Четвертая
С поверхности, км/с	7,91	11,19	16,65*	31,82**
С высоты 200 км	7,79	11,02	16,54*	31,76**
Разность с 200 км	0	3,23	8,75*	23,97**
Выхода из сферы действия ( Земли)	-	-	12,34*	29,78**
Выхода из сферы действия (относительно Солнца)	-	29,78	42,12*	-

- - в направлении движения Земли; \*\* - в направлении, обратном движению Земли вокруг Солнца.

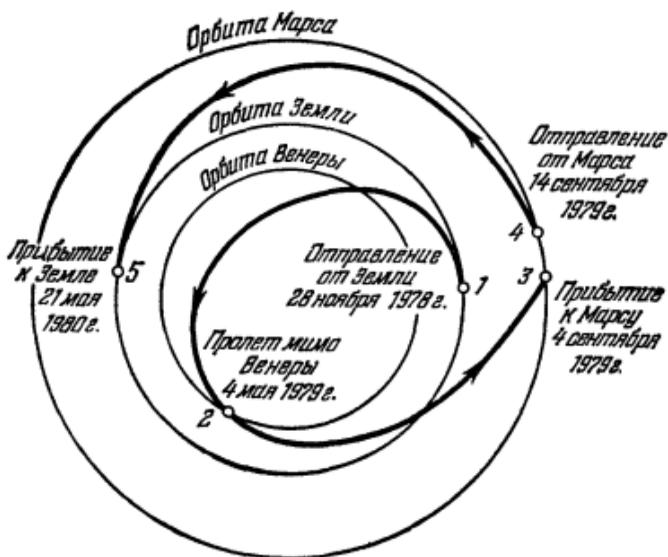


Рис.7. Одна из схем полётов на Марс с облётом Венеры (гравитационный манёвр) и её временные интервалы [1].

Для межпланетных перелётов аппарату необходимо придать скорость для выхода за пределы сферы действия Земли (параболические траектории требуют второй космической скорости). Дальше аппарату следует сообщить соответствующий замедляющий в случаях Венеры и Меркурия и ускоряющий для внешних планет импульс, чтобы подготовить оптимальную переходную орбиту. Если же требуется покинуть пределы Солнечной системы, то для этого следует придать аппарату так называемую *третью* космическую скорость (скорость освобождения от сил тяжести центральной звезды). *Четвертой* космической скоростью называют скорость запуска для падения на Солнце. Последняя при запуске с Земли оказывается даже существенно большей, чем третья космическая (табл.4).

**Пример.** Найти третью космическую скорость для Земли.

*Дано:* средняя орбитальная скорость планеты Земля  $v_{орб} = 29,8$  км/с; параболическая скорость освобождения от её притяжения (вторая космическая)  $v_{пз} = 11,2$  км/с.

*Найти:* параболическую скорость освобождения от притяжения Солнца и Земли с её поверхности.

*Решение:* обозначим искомую скорость  $v_0$ . Тогда после запуска и приближения к сфере действия Земли, согласно закону сохранения, имеем:

$$v_1^2 - \frac{2K}{R} = v_0^2 - \frac{2K}{r},$$

где  $v_1$  – скорость прохождения сферы действия радиуса  $R$ ,  $r$  – радиус Земли,  $K=GM$  – её гравитационный параметр (в законе всемирного тяготения).

Относительно Солнца параболическая скорость освобождения с орбиты Земли равна:  $v_2 = v_1 + v_{орб}$ , откуда  $v_1 = v_2 - v_{орб}$ .

Подставляя это в первое уравнение, получим:

$$v_0 = \sqrt{(v_2 - v_{орб})^2 + \frac{2K}{r} - \frac{2K}{R}}.$$

Учитывая  $v_2 = \sqrt{2}v_{орб}$ , окончательно получим:

$$v_0 = \sqrt{0,18 \cdot v_{orb}^2 + 2K \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right)} \approx 16,7 \frac{KM}{c}$$

(можно убедиться, что второе слагаемое под корнем равно квадрату  $v_{пз}$ ). Полученную формулу можно использовать и для любой другой планеты.

В завершение можно отметить, что сегодня человечество к полёту на Марс технически готово и это не является непреодолимой проблемой. США и Россия задекларировали на ближайшие десятилетия осуществить пилотируемый полёт. Однако стоимость лишь одной экспедиции обойдётся свыше 100 млрд. \$ США, а корабль массой 600 т придётся собирать на орбите Земли. Наиболее перспективными в космосе, согласно мнению многих специалистов, на сегодня представляются электрические реактивные двигатели с малой тягой и газом ксеноном в качестве рабочего тела. Интересно, что студенческой дипломной работой В.П. Глушко был именно электрический реактивный двигатель. Источником энергии для них станет солнечная, превращаемая в электричество на борту солнечными батареями. При этом площадь панелей в 1 гектар даёт 100–200 кВт (нужны будут мегаватты). Отметим, что указанные цифры соответствуют реальным КПД современных панелей, которые быстро прогрессируют. Вариант космического паруса, рассмотренный ранее, тоже не исключён, причём самой эффективной является зеркальная поверхность (плёнка). Американские учёные наиболее подходящим источником электроэнергии считают ядерную. Скорее всего, это будут безмашинные устройства, состоящие из большого числа полупроводниковых термопарных элементов.

Но наиболее сложными являются проблемы длительного пребывания людей в открытом космосе: замкнутое пространство, радиация, отсутствие гравитации, свежего воздуха, воды и еды, невозможность спасения в случае аварии. Поэтому, возможно следовало бы начинать с более простой проблемы изучения венероходами поверхности ближайшей к нам планеты их управлением с орбиты или с аэростатов, где космонавты смогли бы находиться в относительной безопасности менее длительное время? Да и ближе к Солнцу электрические батареи или космический парус лучше бы работали. Однако, современное развитие

космонавтики, благодаря бурному прогрессу компьютерных технологий и радиотехнических средств, происходит преимущественно в направлении использования автоматических межпланетных станций, которые значительно более экономны и не создают опасности самим исследователям. Но так долго продолжаться не может, поскольку именно колонизация новых территорий всегда была принципиально необходимой для выживания человеческих сообществ. Да и возможности роботов-автоматов всё же ограничены, особенно на больших расстояниях и при длительном отсутствии связи с Землёй.

Идея пилотируемого дирижабля в верхних слоях плотной венерианской атмосферы очень интересна. Ведь тогда проблема отсутствия гравитации отпадёт сама собой, а лучевая энергия для солнечных панелей будет вполне доступной. В земных условиях идея больших высотных стратостатов (десятки км) сегодня возрождается как некоторая альтернатива орбитальным космическим станциям. Вполне возможно, что это действительно приведёт к новым интересным разработкам, полезным в будущем для колонизации Венеры и даже Марса (потребуется на порядок большие объёмы аэростатных баллонов).

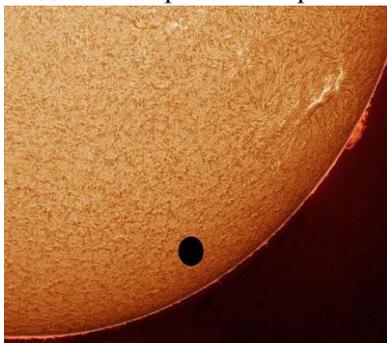
Американский учёный Роберт Зубрин предлагает на Марс везти 6 т жидкого водорода и применить химическую реакцию Сабатье, с помощью которой из марсианского атмосферного углекислого газа можно произвести 84 т кислорода и 24 т метана, необходимые для возвращения на Землю. Но с ещё большим успехом это возможно сделать на Венере. Ведь  $\text{CO}_2$  в её атмосфере на много порядков больше, чем на Марсе. К тому же, на высотах от 50 км до 250 км атмосфера Венеры содержит довольно много водорода, о котором мы поговорим более подробно во второй части этой книги. На нижнем пределе этого интервала высот общее давление составляет примерно 1 атм. (см. рис.10).

# Часть I. Пилотируемые исследовательские полёты к Венере

*«Год пройдёт, а быть может - не год,  
Прозвучит в эфире: Вам на взлёт!  
И мы своей боевой эскадрилей  
Полетим в межпланетный полёт...»  
(Н.Н. Добронравов, «На взлёт»)*

## 1. Физические и метеорологические условия в атмосфере и на поверхности Венеры. Водородный азростат в венерианской атмосфере

Венера – вторая по удалённости от Солнца планета в Солнечной системе и третий по яркости объект нашего земного неба. Её блеск в максимуме ( $m = -4$ ) уступает лишь солнечному и лунному. Венера относится к планетам, известным людям с древних времён. Разные методы исследований (параллакс, радиолокация, прохождение по диску Солнца, см. рис.8) установили, что среднее расстояние Венеры до Солнца близко 108 млн км, причём эксцентриситет орбиты очень мал. Поэтому, её в хорошем приближении можно считать окружностью. Период обращения Венеры вокруг Солнца (звёздный) составляет 224,7 земных суток. Необычайной особенностью планеты является то, что она очень медленно вращается вокруг своей оси с востока на запад, т.е. в противоположном, чем другие планеты (кроме Урана), направлении. При этом один оборот длится 243,02 суток. Медленное вращение привело к сферической форме тела планеты



и независимости ускорения свободного падения вблизи её поверхности от широты.

Рис.8. Венера на фоне солнечного диска во время её прохождения (см. следующий раздел). Это редкое явление бывает дважды с промежутком в восемь лет и не чаще одного раза в сто-

летие (два прохождения подряд, см. стр. 40).



Рис.9. Вулканический рельеф Венеры (реконструкция по данным радиолокаторов) и кратеры на её поверхности диаметром 40–50 км.

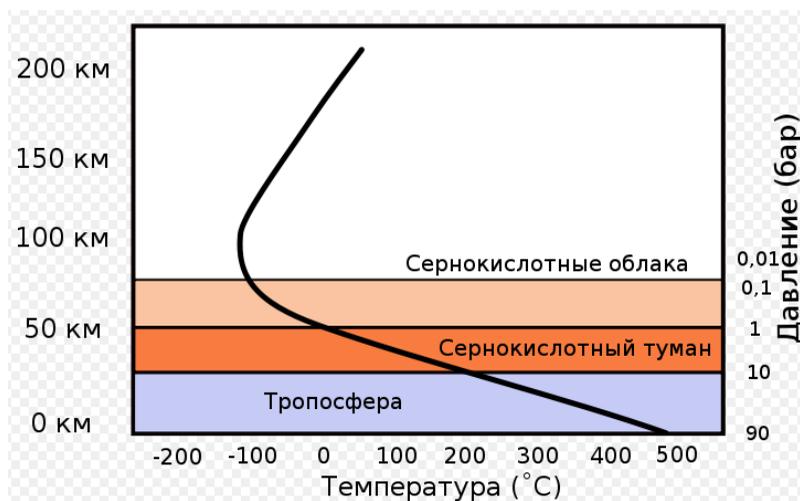


Рис.10. Температура и давление на Венере в зависимости от высоты [2].

Удивительным также является то, что, как и Луна, в каждом нижнем соединении (ближе к Земле на линии Солнце-Венера-Земля) Венера обращается к Земле одной и той же стороной. Без сомнения, это свидетельствует о заметном влиянии Земли на Венеру. Среди всех планет она наиболее близка Земле по размерам и массе (поэтому и силы тяжести на поверхности почти

одинаковы), а также по расстоянию. Однако, в отличие от Марса, исследования поверхности Венеры начались только с началом эры космических полётов, поскольку она надёжно спрятана под густой атмосферой и мощным облачным покровом.

Атмосфера Венеры почти полностью состоит из углекислого газа (96%) и азота (немного меньше 4%). Есть кислород и пары воды, но они содержатся в незначительных количествах. Давление вблизи поверхности равно 93 атм, а её температура близка 475<sup>0</sup>С. Это даже превышает температуру поверхности Меркурия, который в два раза ближе к Солнцу. Причина - парниковый эффект. Он связан с мощной углекислотной атмосферой Венеры (у Меркурия она незначительна). Вблизи поверхности плотность атмосферы Венеры всего в 14 раз меньше плотности воды. Поэтому, несмотря на медленное вращение планеты, значительно перепада температур между освещённым и темным полушариями нет (происходит интенсивный атмосферный теплообмен). Практически вся атмосфера Венеры охвачена одним гигантским ураганом, который вращается вокруг планеты со скоростью 120–140 м/с вблизи верхней границы облаков. Причина возникновения этого урагана на сегодня ещё не установлена. Интересно, что на Юпитере также давно наблюдается огромный вихрь – Красное пятно – который астрономы изучают уже много десятилетий и до сих пор не имеют его надёжного объяснения.

Облачный покров на Венере находится на высотах 30–60 км и имеет несколько слоёв. Его состав окончательно ещё не изучен, однако учёные предсказывают, что облака могут состоять преимущественно из капель концентрированной серной кислоты и соединений серы и хлора. Поэтому, попадание аэрозоля в такие тучи нужно будет избегать в будущем. Измерения, произведенные с автоматических космических аппаратов, выявили, что облачность не очень плотная и напоминает однородную туманную пелену.

Результаты исследований аппаратов, которые достигли венерианской поверхности, доказали, что вследствие парникового эффекта (из-за высоких температур) существование жидкой воды здесь невозможно. С развитием радиолокационных методов стали возможными исследования поверхности Венеры с её орбиты. Одну из наиболее детальных карт составил американский

аппарат «Магеллан», благодаря чему теперь имеем 98 % поверхности Венеры с разрешающей способностью рельефа до 100 м. Картографирование обнаружило чрезвычайно широкие плато (возможно, это были равнины во времена существования океанов). Самые большие из них имеют названия Земля Иштар и Земля Афродиты. Их вполне можно сравнивать с земными материками, поскольку каждое имеет площадь, большую площади Европы. На поверхности планеты было обнаружено всего около тысячи больших кратеров. Это можно объяснить относительно коротким возрастом современной поверхности Венеры (всего 300 млн лет, т.е. как у дна океанов Земли). В это же время сформировалась мощная атмосфера, которая защитила планету от метеоритных атак. Скорее всего, большинство кратеров имеют преимущественно вулканическое происхождение.

О внутреннем строении Венеры пока, конечно, известно мало. Предложено несколько его моделей. Согласно наиболее вероятной Венера имеет три оболочки. Первая – кора толщиной примерно 16 км. Дальше вглубь 3300 км идёт мантия (силикатная оболочка). И, наконец, металлическое или металлогидридное ядро, которое составляет по массе четверть всей массы Венеры и примерно 3000 км вдоль её радиуса. Внутренняя часть ядра, как и у нашей Земли – твёрдая, а внешняя – жидкая. Относительно очень тонкая кора вследствие высоких температур даёт возможность вырываться вулканической лаве на поверхность. Считается, что Венера – наиболее вулканически активный объект Солнечной системы. Низинные территории (возможно бывшие океанические) занимают лишь шестую часть поверхности планеты. Горы Максвелла имеют высоту над средним уровнем примерно 11 км.

Ударные кратеры – довольно редкий элемент венерианских пейзажей. Их внутренняя часть заполнена лавой. «Лепестки» вокруг кратеров образуют участки из измельчённой породы, выброшенной во время взрыва. Интересно, что все детали рельефа имеют женские имена (кроме самого высокого хребта Максвелла Земли Иштар вблизи плато Лакшми).

Как уже отмечалось, венерианская атмосфера почти полностью состоит из углекислого газа  $\text{CO}_2$ . Поскольку его молярная масса (44 г/моль) превышает в 1,5 раза воздух земной атмосферы

ры (29 г/моль при тех же давлении и температуре), то и соответствующая подъёмная сила во столько же будет больше. Как известно, среди всех газов наибольшую подъёмную силу имеет водород (2 г/моль), который для земного воздуха считается опасным, поскольку он содержит кислород. Поэтому на Земле наиболее оптимальным традиционно считают значительно более дорогой гелий (4 г/моль).

Однако, водородные аэростаты тоже использовались до серьёзных аварий с большими дирижаблями (например, пожар и гибель «Гинденбурга»). Кроме этого, экономические преимущества водорода играли главную роль во время войны. Так, например, в блокадном Ленинграде и в Москве для защиты от немецких самолётов широко использовались именно водородные аэростаты [12]. Однако на Венере проблема пожароопасности фактически исчезает, поскольку в её атмосфере кислород практически отсутствует. Поэтому, там для водородного аэростата можно использовать, например, остатки топлива водородной ракеты, которая доставит корабль к Венере.

Оценим количество водорода, необходимое для удержания на высотах вблизи 50 км (давление 1 атм) корабля-гондолы на базе «Бурана» плюс определённая дополнительная масса (оболочка аэростата и прочее). Пускай всего будет 200 т. 1 моль водорода (масса 2 г) при нормальных условиях занимает примерно 20 л объёма. Тогда грубо 0,1 кг водорода вытесняет 1 м<sup>3</sup> венерианской атмосферы на указанных высотах, которая в полтора раза тяжелее, чем земной воздух (1,26 кг/м<sup>3</sup>). Отношение молей водорода и углекислого газа составляет 1/22. Поэтому, пренебрегая массой водорода по сравнению с массой вытесняемого углекислого газа, мы ошибаемся в подъёмной силе менее, чем на 5% (далее эту величину можно вычесть).

Таким образом, необходимое количество водорода для удержания аэростата массой 200 т грубо равняется 10 т. «Буран», имея собственную массу 105 т, с орбиты Венеры сможет спускать несколько десятков тонн (с учётом большей плотности венерианской атмосферы). Поскольку плотность жидкого водорода составляет 71 кг/м<sup>3</sup>, то 10 т его занимает  $1/71 * 10000 = 141$  м<sup>3</sup>. После испарения этот объём уже будет 126000 м<sup>3</sup> и, таким образом, подъёмной силы для 200 т балласта оказывается вполне

достаточно с хорошим запасом. Стоит отметить, что использование гелия на Венере уменьшит подъёмную силу (приблизительно на 5%). Поэтому, при тех же условиях вместо 10 т водорода понадобится 10,5 т значительно более дорогого газа He-4. Таким образом, преимущество водорода очевидно (кислород в венерианской атмосфере отсутствует, поэтому гореть после удара молнии водород не сможет). Конечно, нужны будут ещё предварительные исследования автоматическими водородными аэростатами-зондами с целью проверки пригодности идеи для бурной атмосферы этой планеты. Только после этого можно будет планировать первый пилотируемый полёт для создания водородной аэростатной станции на высотах, где температура и давление являются близкими земным.

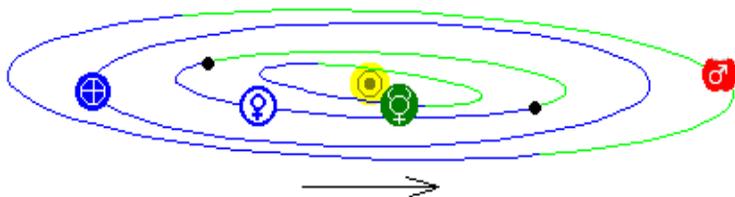


Рис.11. Орбиты планет земной группы. Две чёрные точки – узлы венерианской орбиты, в которых она пересекает плоскость земной орбиты (эклиптику). Более светлая часть её находится под эклиптикой. Все планеты совершают движение в одном направлении.

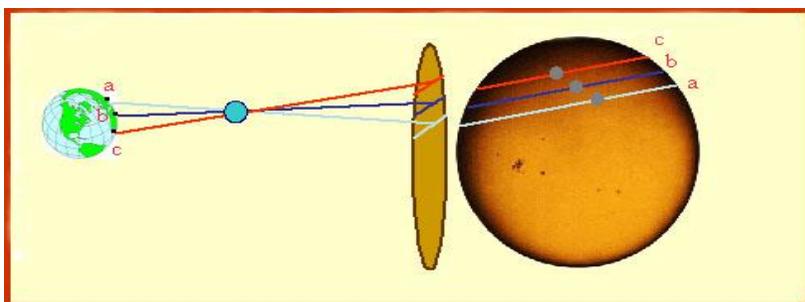


Рис.12. Объяснение возможности наблюдений Венеры (или Меркурия) на фоне солнечного диска.



Рис.13. Путь Венеры 8 июня 2004 года для наблюдателя, движущегося рядом с Землёй вдоль её орбиты.

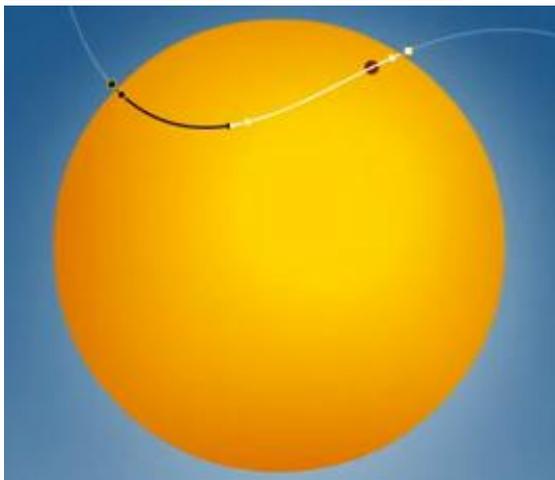


Рис.14. Движение Венеры для Земного наблюдателя 6 июня 2012 года – последнее в XXI столетии прохождение Венеры.



Рис.15. Фото Венеры, сделанное астрономом-любителем во время её прохождения 6 июня 2012 года (Сергей Зеленцов).



Рис.16. Фото обсерватории NASA прохождения Венеры 6 июня 2012 года, выполненное в невидимой части спектра Солнца.

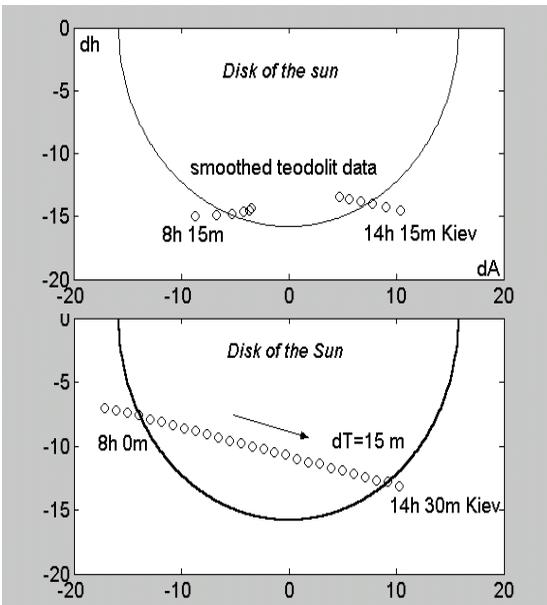


Рис.17. Результаты построений автором книги прохождения Венеры 8 июня 2004 года в разных системах координат: верхний рисунок - данные измерений (табл.6) в координатах азимут-высота; нижний рисунок - расчёт по данным [24] в небесных координатах склонение-прямое восхождение (интервал 15 мин).

В завершение отметим, что венерианскую атмосферу впервые наблюдал 6 июня 1761 года М.В. Ломоносов, благодаря уже упоминавшемуся редкому явлению прохождения Венеры по диску Солнца (первое наблюдение прохождения в истории: 4 декабря 1639 года, английский астроном Джеримайя Хоррокс вместе со своим помощником, потом люди неоднократно наблюдали и менее эффектное

прохождение Меркурия). Для лучшего понимания движений Венеры относительно Земли рассмотрим природу этого важного явления более внимательно.

## 2. Наблюдения Венеры на фоне солнечного диска

Прохождение внутренней планеты (Венера или Меркурий) по солнечному диску происходит, если она находится вблизи узлов своей орбиты – две точки на линии пересечения плоскостей земной орбиты и этой планеты (рис.11). Рис.12 также объясняет природу появления днём внутренней планеты на фоне солнечного диска. Если бы угол между плоскостями орбит Земли и планеты был нулевой (а не  $3,4^\circ$  как для Венеры), то прохождение наблюдалось бы с Земли каждый раз.

Если наблюдатель находится рядом с Землёй на её орбите, он увидит путь Венеры таким, как это показано на рис.13 или 17(б). Однако, наблюдатель, находящийся на земной поверхности, дополнительно вращается вместе с ней. Поэтому путь Венеры представляется ему более сложным (рис.14 или рис.17а). На рис.15–16 показаны фото Венеры во время её прохождения 6 июня 2012 года, сделанные в видимой и невидимой частях солнечного спектра. Путь планеты по солнечному диску можно воспроизвести в разных системах координат (земных, верхний рис.17 – теодолитные данные, или небесных - нижний).

Кроме возможности наблюдения атмосферы, прохождение Венеры позволяет найти расстояние от Земли до Солнца по углу параллакса  $\alpha$  (рис.18). В немного упрощенном виде этот угол для заданной базы  $b$  можно рассчитать, зная угловую скорость движения Венеры  $\omega$  относительно солнечного диска и разность моментов  $T_2-T_1$  её касания к границе диска в плоскости (для крайних точек базы), перпендикулярной лучу зрения наблюдателя (т.е., не вдоль земной поверхности!). Тогда имеем:

$$\alpha = \omega (T_2 - T_1),$$

откуда расстояние от Земли до Солнца  $L = b / \operatorname{tg}(\alpha)$ , т.е. астрономическую единицу. Конечно, эта простая формула не учитывает вращение Земли, а также то, что орбита Венеры – окружность (а не прямая). Она даёт приближённую величину  $L$  и лишь

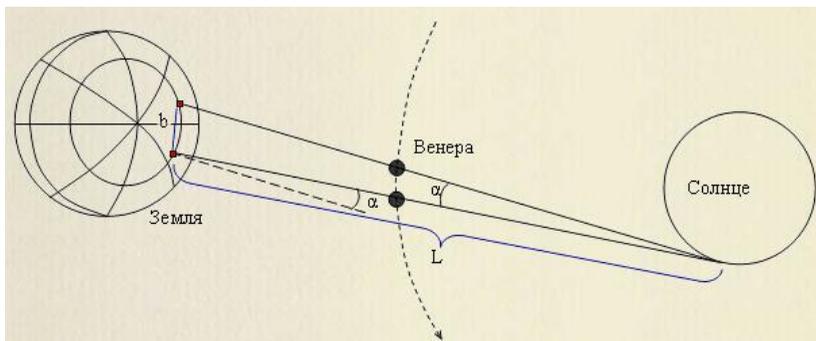


Рис.18. Угол параллакса  $\alpha$  Венеры на границе солнечного диска для двух земных точек с расстоянием  $b$  между ними можно определить по соответствующим моментам времени.

объясняет сам принцип. Её уточнение и измерения моментов времени с точностью выше 0,1 с (это можно сделать на больших телескопах) позволяют найти астрономическую единицу достаточно точно. А с ней, как известно, связаны и все другие расстояния в Солнечной системе.

Однако, для любителей могут быть интересны и теодолитные наблюдения прохождения Венеры. Приведём ниже примеры таких наблюдений, выполненные автором этой книги для двух последних в этом столетии прохождений Венеры.

Табл.5. Прохождение Венеры по диску Солнца 6.06.2012, г. Черкассы (широта  $49^{\circ} 25' 26''$ , долгота  $32^{\circ} 5' 36''$  данные GPS и собственных определений). Явление началось ещё до восхода Солнца (1 час 6 мин по киевскому времени). Место нуля теодолита  $2'0''$  (в табл. уже отнято). В Черкассах Солнце взошло в 5 час. 7 мин. Результаты измерений:

1) Венера (центр диска)

Время (киевское)	Высота измерения	Азимут (условный)
5-14-29,7	3-9-55	126-38-40
5-22-15,0	4-13-35	128-6-30
5-27-15,8	4-53-20	129-0-30
5-36-5,2	6-8-30	130-39-20
6-15-9,6	11-51-55	137-43-30

6-19-1,6	12-27-15	138-24-40
6-23-22,9	13-7-0	139-11-20
6-27-49,2	13-47-30	139-58-40
7-26-18,9	23-1-0	150-24-40
7-29-55,7	23-35-42	151-3-30
7-32-17,6	23-59-0	151-29-20
7-35-0,7	24-25-15	
7-39-1,1	25-3-55	
7-45-38,6	26-8-10	153-54-30
7-53-44,6*	27-26-50	

3-й контакт 7-37-35

\*4-й контакт

2) Солнце (верхний край диска)

5-19-50	4-0-10	127-40-10
5-24-53,3	4-41-20	128-36-30
5-38-43	6-36-30	131-7-0
6-17-16,6	12-15-50	138-3-40
6-21-9,2	12-51-5	138-44-30
6-30-32,2	14-17-10	140-24-40
7-28-20,6	23-22-55	150-10-30
7-40-37,2	25-21-10	
7-48-3,4	26-33-10	154-14-0
7-57-7,6	28-9-50	156-2-50

Табл.6. Результаты измерений прохождения Венерой диска Солнца 8 июня 2004 года для того же места (рис.19). Высоты уже учитывают место нуля теодолита (пятисекундный ТТ4), рефракцию и параллакс (после строчки \*\*\* теодолит был перенесен, поскольку наблюдениям мешала лифтовая будка).

Время (Киев) час-мин-с	№ п/п	Сол- нце	Венера	Измерен- ная высо- та, °	Азимут, ° (относи- тельный)	Приме- чания
8-20-35	1		Появл.	(немного)	раньше)	начало
8-22-18	2		+	31,6903	238,6667	
8-25-15	3		+			
8-26-45	4		+	32,4104	239,5306	
8-30-30	5	+		33,2669	240,3583	
8-32-36	6		+	33,3612	240,6972	
8-37-52	7		+	34,2188	240,7528	конец вхожд.

						В ДИСК
8-40-55	8		+	34,7178	242,3722	
8-43-10	9	+		35,3242	242,9057	
8-46-50	10		+	35,6741	243,5806	
8-49-45	11	+		36,3834	244,2444	
8-53-24	12		+	36,7374	244,9417	
8-56-17	13	+		37,4342	245,6083	
9-01-10	14		+	37,9980	246,5806	
9-2-41	15	+		38,4656	246,9611	
9-23-24	16		+	41,5557		
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
12-42-56	17		+	63,2480	119-36-0	
12-48-06	18	+		63,4660	121-56-50	
12-50-27	19		+	63,2799	123-12-20	
12-52-30	20	+		63,4632	124-07-40	
12-54-45	21		+	63,2632	125-21-00	
12-56-56	22	+		63,4437	126-20-30	
12-59-31	23		+	63,2271	127-43-50	
13-02-06	24	+		63,3798	128-55-40	
13-03-53	25		+	63,1660	129-55-30	
13-09-19	26	+		63,2798	132-34-00	
13-10-50	27		+	62,9882	133-26-50	
13-16-16	28	+		62,9978	136-08-40	
13-19-17	29		+	62,6825	137-43-00	
13-26-44	30	+			141-20-40	
13-28-18	31		+	62,2575	142-13-05	
13-32-26	32	+		62,2595	144-09-00	
13-35-14	33		+	61,8532	145-34-40	
13-54-03	34		+	60,4695	154-20-30	
13-56-35	35	+		60,4428	155-23-25	
14-09-17	36		+	59,0678	160-54-10	
14-11-55	37	+		59,0256	161-56-10	
14-13-15	38		+	58,6635	162-32-30	
14-19-34	39		+	58,0009	165-04-20	
14-21-10	40		+	58,8314	165-59-50	КОНЕЦ
14-24-03	41	+		57,7613	166-45-00	



Рис.19. Место наблюдения прохождений Венеры (крыша 10-этажного дома). Точки наблюдений 8 июня 2004 года находятся между лифтовой будкой: А – до переноса теодолита (начало прохождения), Б – после переноса (окончание наблюдений). Координаты:  $49^{\circ}25'26''$  сев. широты,  $32^{\circ}5'36''$  вост. долготы (данные GPS проверены собственными измерениями). Для 6 июня 2012 года наблюдения проводились над самой лифтовой будкой.

### **3. На пути к Венере. Проблема доставки большой массы**

Исследованиям Венеры с помощью автоматических межпланетных станций предшествовало решение целого комплекса сложных научно-технических проблем, в частности, – баллистических. Первая из них – выбор способа старта с Земли, который бы обеспечил минимальную скорость станции после её разгона двигателями (активный участок), что позволяет вывести к Венере наибольший полезный груз при наименьших габаритах ракеты. Это также максимально уменьшит затраты на погашение скорости входа в атмосферу, что очень важно для экономии массы конструкции тепловой защиты и обеспечения прочности от перегрузок.

Вторая – обеспечение такого режима полёта станции и времени старта, чтобы за пределами сферы действия Земли (на корабль действует лишь Солнце) она могла встретиться с Венерой в наперёд заданном месте, войдя в её сферу действия.

Третья – выбор оптимальной длительности полёта. При увеличении длительности возрастает вероятность встречи с метеоритами и выхода из строя аппаратуры в условиях значительной радиации. При этом в момент достижения атмосферы Венеры станцию нужно будет видеть из центра дальней космической связи на Земле (для автономного, например, – пилотируемого полёта это хоть уже и не обязательно, но тоже важно).

Как видим, длительность и дальность перелёта должны быть минимальными, но станцию нужно наблюдать при сближении с Венерой, а скорость вхождения в атмосферу должна быть как можно меньшей. Таким образом, возникают противоречия между разными требованиями и нужно среди многих вариантов выбирать тот, который позволит решить задачу в рамках существующих экономических возможностей, если это вообще реально на момент постановки проблемы. В условиях пилотируемого полёта, когда масса корабля возрастает от нескольких тонн до сотен тонн, выбор траектории в рамках существующих технических средств и наличных финансов становится особенно актуальным.

Всю траекторию межпланетного полёта можно условно разделить на три участка:

- полёт в сфере действия Земли;
- движение за её пределами под влиянием лишь Солнца;
- полёт в сфере действия Венеры.

Такое деление имеет условный характер и делается для получения упрощённого аналитического (приближённого) решения задачи для нахождения траектории движения. Этим способом задача нескольких тел, которая не имеет точного аналитического решения в общем виде, т.е. задача о Земле, корабле, Солнце и Венере (влияет также и Луна) – сводится в каждой области к приближённой задаче двух тел: корабль и главный источник силы тяжести. Но для уточнения решения учёным приходится довольствоваться численными методами. Однако, такие вычис-

ления дают огромное число вариантов межпланетных траекторий, анализировать которые очень сложно даже на современных быстродействующих компьютерах. Поэтому баллистики и выбирают метод сфер действия для предварительного исследования характера движения при заданных начальных условиях. На каждом участке траекторию получают в рамках кеплеровой задачи, что значительно упрощает расчёт, а дальше для уточнения используют численные методы с учётом влияния данных небесных тел, которые влияют на движение космического корабля.

Табл.7. Радиусы сфер действия планет на спутник относительно Солнца (масса  $1,989 \cdot 10^{30}$  кг , радиус 0,696 млн. км). Радиусы планет (км): Меркурий 2440; Венера 6052; Земля 6371; Марс 3390; Юпитер 69911; Сатурн 58232; Уран 25362; Нептун 24622.

№	Планета	Радиус действия млн. км	Расстояние до Солнца млн. км	Масса $10^{24}$ кг	Период вращения год (тропич.)
1.	Меркурий	0,11	57,9	0,330	0,2408
2.	Венера	0,62	108,2	4,869	0,6152
3.	Земля	0,92	149,598	5,974	1,0000
4.	Марс	0,58	227,9	0,642	1,8809
5.	Юпитер	48,1	778,3	1899	11,8622
6.	Сатурн	54,8	1429,4	568,5	29,4577
7.	Уран	51,7	2875,0	86,63	84,0153
8.	Нептун	86,9	4504,4	102,8	164,7883

Старт к Венере от Земли, как и для полёта на Марс, целесообразно проводить с низкой орбиты спутника Земли. Именно так начинали свои космические путешествия советские и американские станции к Венере или Марсу. Оставляя орбиту спутника Земли под влиянием импульса двигателей, после достижения нужной скорости станция начнёт быстро удаляться от неё в космическое пространство. Однако, земное притяжение с каждым километром набора высоты станции будет уменьшать её ско-

рость. Так, например, на высоте 1000 км она снизится до 10,403 км/с, а на высоте 10000 км скорость полёта станет равной 6,983 км/с. При достижении 100000 км она составит всего 2,740 км/с. Правда, темп уменьшения скорости движения будет падать.

**Пример.** Найти средний радиус сферы действия Луны (1/81 массы Земли) относительно Земли, если среднее расстояние до неё составляет 384400 км.

Решение: Находим минимальный радиус действия:

$$\rho_{\min} = r_{12} \left( \frac{m_1}{m_2} \right)^{2/5} = 384400 \cdot \left( \frac{1}{81} \right)^{2/5} = 66280 \text{ км.}$$

Взяв на 7% больше [23], находим средний радиус действия Луны относительно Земли:  $\rho=70920$  км (область действия, строго говоря, не образует сферу, а является эллипсоидом, однако с хорошей точностью можно говорить и о сфере действия). Таким образом, на расстояниях от Луны, больших за это, её влиянием на космический аппарат в первом приближении можно пренебречь.

Когда корабль дойдёт до границы сферы действия Земли относительно Солнца (см. табл.7), его запас кинетической энергии будет практически исчерпан. Поэтому дальше он будет двигаться почти по той же орбите, что и Земля. Отсюда следует, что для полёта к Венере (или Марсу, или к другой планете) необходимо стартовать от Земли со скоростью, которая превышает вторую космическую. Расчёт показывает, что для полёта к Венере станция за пределами сферы действия Земли должна иметь скорость относительно Земли 2,494 км/сек (гомановский эллипс). Для этого во время старта с Земли требуется скорость 11,464 км/с в сторону, противоположную орбитальному движению планеты. Таким образом, траектория корабля уже не будет параболой (как для второй космической), а станет гиперболой. Можно отметить, что для полёта к Марсу нужна ещё большая скорость, а именно: не менее 2,943 км/с непосредственно за сферой действия, а при старте, соответственно: 11,570 км/с (в направлении движения Земли).

Понятно, что необходимая скорость старта с орбиты спутника Земли для полёта до Венеры зависит от высоты этой орбиты

и будет меньше при её увеличении. Например, для полёта при старте с орбиты высотой 200 км полная скорость «отлёта» должна быть равной 11,296 км/с (часть её уже имеется – это первая космическая скорость), а с геостационарной орбиты (H = 35809,4 км над земной поверхностью) – 5,015 км/с соответственно. Если стартовать к Венере с Луны, ракета должна сначала перебороть силу тяжести Луны, а дальше (за пределами лунной сферы действия) – притяжение Земли. Несмотря на это, скорости отлёта с Луны оказываются значительно меньшими. Например, для полёта к Венере с оптимальной скоростью удаления от Земли (2,494 км/с) при старте с поверхности Луны она уменьшится до 3,017 км/с (вместо 11,296 км/с, если с орбиты Земли). На это в своё время обращали внимание К.Э. Циолковский, Ю. В. Кондратюк и другие инженеры-первопроходцы космоса: главное преимущество старта с Луны – значительно меньшие скорости отлёта.

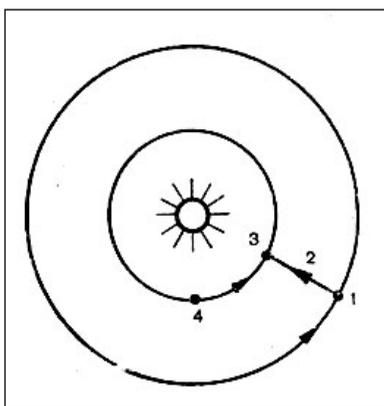


Рис. 20. Траектория падения на Солнце – наиболее быстрый путь к Венере (25 суток): 1 – Земля; 2 – траектория полёта космического корабля; 3 – Венера в момент прибытия; 4 – Венера в момент старта корабля от Земли.

Наиболее прямой (но не самый простой) путь к Венере – полёт вдоль кратчайшего расстояния между орбитами планет. Его можно осуществить, если полностью скомпенсировать орбитальную скорость при старте с Земли. Тогда корабль начнёт падать на Солнце и быстро достигнет орбиты Венеры (рис. 20), если в этот момент она окажется в нижнем соединении с Землёй. Поскольку Земля движется вокруг Солнца со средней скоростью 29,76 км/с, то станции при отлёте с Земли нужно сообщить эту скорость плюс дополнительную на выход за сферу

действия Земли. Расчёт даёт так называемую четвертую космическую для Земли: 31,8 км/с. На современном уровне развития ракетной техники это практически недостижимая величина, особенно для пилотируемого полёта массивного корабля. Станция в своём "падении" прошла бы расстояние между планетами 42 млн. км всего за 25 суток, однако в момент встречи с Венерой наземные пункты управления не смогли бы на фоне Солнца принимать какую-либо информацию. Но важнее даже другое: за время падения скорость корабля возросла бы до десятков км/с, что с учётом скорости Венеры (35 км/с) требует значительного импульса двигателей для перехода на её орбиту.

Поэтому, баллистики стали исследовать другие траектории полётов к Венере, которые отвечали бы минимальным скоростям в начале, а значит – и в конце путешествия. Анализ свидетельствует, что энергетически оптимальной является так называемая гомановская траектория, а именно: эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце. При этом афелий такой орбиты (наиболее удалённая от Солнца точка) должен касаться орбиты Земли, а перигелий (наименее удалённая) – орбиты Венеры (рис. 21). Для полёта к Венере гомановская траектория будет иметь такие характеристики:

- старт с орбиты спутника Земли 11,46 км/с;
- скорость удаления от Земли 2,49 км/с;
- пройденный путь к Венере 804,2 млн. км;
- продолжительность путешествия 146,1 суток;
- расстояние между Землёй и Венерой в момент достижения кораблём планеты 90 млн. км.

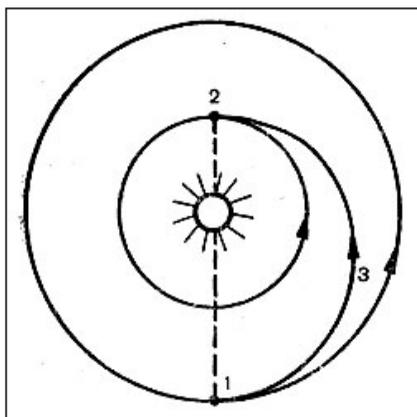


Рис. 21. Гомановская орбита (146 суток, от Земли до внутренней планеты) даёт минимальные затраты топлива: 1 – точка старта; 2 – точка достижения Венеры; 3 – гомановская орбита.

Как видим, отличные энергетические характеристики одновременно имеют и серьёзные недостатки (большое время перелёта, отсутствие связи на момент прибытия). Принципиальной является также сложность выведения станции на гомановскую орбиту, поскольку для неё на границе со сферой действия Земли корабль должен иметь скорость около 2,5 км/с со строго противоположным движению Земли направлением. Ошибка всего на 1 м/с приведёт к различию 70 тыс. км положения вблизи Венеры. Ошибка в направлении скорости на 1 градус также даёт значительное отклонение (см. дальше табл.8 для проекта «Венера-Д»).

Недостатки значительного времени полёта (5 месяцев) и большого расстояния между планетами на момент прибытия современной ракетной техникой можно преодолеть, но обязательно с энергетическими потерями. Особенно они чувствительны к скорости, поскольку энергия (а значит – необходимые запасы топлива и окислителя) пропорциональны её квадрату. Для пилотируемого полёта, который требует в десятки раз большей массы корабля, возрастает и роль массы. Но, всё же, сегодня полёты с минимальной скоростью уже не рассматривают как единственно возможные. Так, например, длительность перелётов станций "Венера-5" и "Венера-6" была немного больше трёх месяцев вместо пяти и это, как мы видели, – не предел.

Таким образом, разновременные траектории находятся в границах между оптимальной энергетической (гомановская, 146 суток) и кратчайшей (прямолинейная, 25 суток). Исходя из весовых и конструктивных соображений, а также учитывая возможности наземного командно-измерительного комплекса, для автоматических аппаратов к Венере выбирают траектории длительностью 3–4 месяца. Тогда расстояние между Землёй и Венерой в момент встречи равняется примерно 70 млн. км. Солнце при этом не мешает радиосвязи. Таким характеристикам траектории отвечает определённая конфигурация планет: Земля в момент старта должна опережать Венеру на угол примерно 45° (рис. 22). Периодичность таких пусков станций – 584 суток, поскольку именно за этот период взаимное расположение планет повторяется. Но отклонение времени старта на несколько суток мало влияет на энергетику (коррекции для выхода в плоскость

орбиты Венеры, а также в конце полёта всё равно нужно делать). Поэтому, например, для старта станций "Венера-5" и "Венера-6" в паре были определены даты 5 января и 10 января 1969 года. Длительности их полётов составили соответственно 131 и 127 суток, так что при стартах с интервалом в 5 суток их прибытие к Венере произошло с интервалом лишь в 1 сутки.

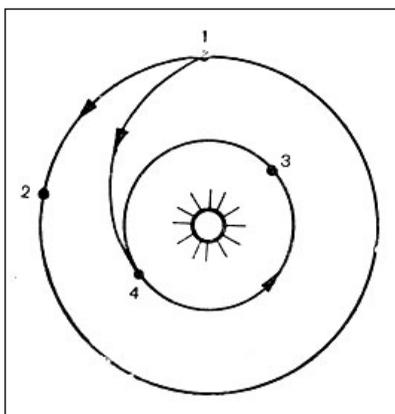


Рис. 22. Межпланетная орбита от Земли к Венере за 70 суток: 1 – Земля в момент старта; 2 – Земля в момент достижения Венеры; 3 – Венера в момент старта от Земли; 4 – Венера в момент прибытия корабля.

Выбор траекторий и режимов полёта межпланетных космических кораблей - чрезвычайно ответственная но, вместе с этим, весьма интересная научная задача. В этой области баллистики и космической техники много сделал К. Э. Циолковский, который одним из первых получил принципиальные решения основных вопросов. Его последователями, которые много сделали для решения вопросов подготовки межпланетных путешествий, стали советские учёные Ф.А. Цандер, Ю.В. Кондратюк, А.А. Штернфельд, немецкие учёные В. Гоман и Г. Оберт. В наше время, особенно с началом эры космических полётов, количество посвящённых этому работ значительно возросло (см. книгу К. Эрике "Космический полёт" и работы целого поколения советских учёных: Д.Е. Охоцимского, В.А. Егорова, Ю.А. Рябова и многих других). Однако бурное развитие техники, накопление опыта межпланетных полётов выдвигают новые, всё более сложные и интересные проблемы. И среди них одной из главных является пилотируемый полёт к соседней планете.

Табл.8. Характеристики «окна» стартов и прибытия для 2016-2017 годов проекта автоматической межпланетной станции «Венера-Д». Перенесен до лучших времён: 2024 год (Россия).

Дата старта	Дата прибытия	Асимптотическая скорость вылета с Земли, км/с	Асимптотическая скорость прибытия к Венере, км/с	Сумма асимптотических скоростей вылета и прибытия, км/с
01.12.2016	17.05.2017	3.341	2.823	6.164
04.12.2016	16.05.2017	3.302	2.768	6.071
05.12.2016	16.05.2017	3.308	2.745	6.053
06.12.2016	17.05.2017	3.336	2.709	6.045
07.12.2016	17.05.2017	3.356	2.694	6.050
08.12.2016	18.05.2017	3.391	2.678	6.069
19.12.2016	31.05.2017	3.664	3.035	6.699



Рис.23. Космический многоразовый корабль «Буран» на низкой орбите Земли. Длина: 36,4 м; высота: 16 м; размах крыльев: 24 м; масса собственная: 105 т; выводит на орбиту полезную нагрузку 30 т; спускает с орбиты 20 т; экипаж: до 10 чел.; посадочная скорость 300 км/ч; граничная скорость входа в земную атмосферу 30000 км/ч. Всего производилось 5 изделий [33].

орбиты 20 т; экипаж: до 10 чел.; посадочная скорость 300 км/ч; граничная скорость входа в земную атмосферу 30000 км/ч. Всего производилось 5 изделий [33].

Если исходить из существующих на сегодня разработок, аэростатную станцию можно было бы создавать на базе космического челнока (например, «Бурана», рис.23). Выведение его на олоземную орбиту хорошо отработано, а дальше дополнительное дооснащение можно выполнить на орбите (10 т водорода для аэростатных баллонов и они сами, ракетные ускорители и прочие более мелкие, но весьма важные комплектующие).

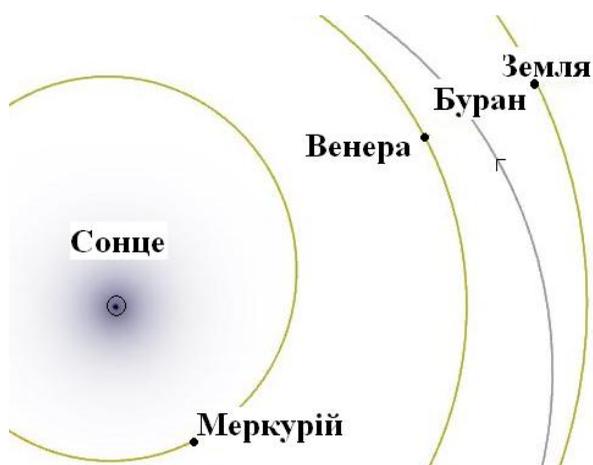


Рис.24. Промежуточная между двумя крайними (длительностью от 25 суток до 146 суток) траектория «Бурана». Венера обгоняет Землю, а «Буран» - между ними на своей траектории.

После этого корабль стартует до Венеры в удобном временном окне с промежуточной между крайними траекторией и через 25–150 дней (рис.24) после двух коррекций выходит на орбиту её искусственного спутника. Возможно также и непосредственное вхождение в атмосферу Венеры без выхода на промежуточную орбиту спутника. Скорость вхождения будет минимальной именно для гомановской траектории (афелий – старт от Земли против её движения вдоль касательной, перигелий – приближение к Венере на противоположном конце большой оси также по касательной). При этом учитывают, что плоскости почти круговых (особенно у Венеры) орбит этих планет не совпадают, хотя и являются близкими.

Первая коррекция через несколько суток после старта нужна, чтобы перевести корабль из плоскости эклиптики в плоскость орбиты Венеры вблизи одного из двух её узлов. При этом для

перевода эллипса вектор скорости корабля следует повернуть на  $3,4^\circ$ . Вторая коррекция необходима уже вблизи Венеры для исправления навигационных ошибок и (если это будет нужно) для перевода корабля с эллиптической на круговую орбиту. Поскольку речь идёт о пилотируемом корабле с людьми на борту, наличие компьютера и квалифицированного штурмана позволит самостоятельно определить параметры коррекции (даже без информационной поддержки с Земли).

Для того, чтобы лучше ориентироваться, приведём пример поэтапных вычислений и некоторые другие характеристики из проекта «Венера-Д» для решения проблемы перелёта (разработка российских учёных-баллистиков Лавренова С.М., Степаньянца В.А., Тучина А.Г. Институт проблем математики им. М.В. Келдыша РАН):

Коррекции на траектории перелёта:

- Первая коррекция выполняется на седьмые сутки полёта.
- Вторая коррекция производится за четыре суток перед прибытием к Венере.
- После выполнения второй коррекции и отделения спускаемого аппарата выполняется манёвр отведения орбитального аппарата.
- Третья коррекция движения орбитального аппарата проводится за одни сутки до прибытия непосредственно к Венере.

Допустимые ошибки выполнения манёвров и коррекций:

- Отклонение в сообщении импульса от расчётного для перехода на траекторию перелёта должно быть меньше  $0,2\%$  по величине и  $0,7^\circ$  по направлению.
- Ошибки сообщения корректирующих импульсов и манёвра отведения:  $0,5$  м/с по величине и  $0,7^\circ$  по направлению.

Траекторные измерения в проекте «Венера-Д» проводятся:

- до расстояния  $2$  млн км - со станций «Спектр-Х» на Байконуре и в Медвежьих Озерах;
- при удалении свыше  $1,5$  млн км - со станций, оборудованных большими антеннами, в Уссурийске (П-2500) и Медвежьих Озёрах (ТНА-1500).

Рабочая частота излучения:  $7,1-7,2$  ГГц.

Зона однозначного определения дальности: 1023 км. Ошибки измерений (чувствительность): 20 м по дальности; 0,2 мм/с по радиальной скорости.

Важно отметить, что конструкция второй ступени ракеты «Энергия» вполне позволяла наращивать количество горючего (жидкий водород) для обеспечения межпланетных полётов с помощью комплекса «Энергия-Буран». Только в этом случае огромные усилия коллективов учёных-конструкторов и многотысячных трудовых коллективов СССР (а также многомиллиардные затраты) оправдали бы себя.

К большому сожалению, неспособность тогдашнего руководства видеть перспективу и шаги на замораживание проекта сделали после первых успешных испытаний «Бурана» следующие логические шаги невозможными. Военная потребность в таком средстве доставки боеприпасов исчезла, а продолжать тратить на мирный космос ради престижа державы и научного прогресса человечества в условиях роста кризисных процессов (война в Афганистане, Чернобыль, падение мировых цен на нефть, рост организованной преступности в условиях перестройки экономики, другие военные затраты) недалековидные правители решили излишним. Да и до распада самого государства оставалось недолго, а запуски тяжёлых челноков на земную орбиту оказались дороже, чем традиционные одноразовые полёты.



Рис.25. Посадка «Бурана» на Венере не понадобится [33].

Кто знает, возможно успехи полётов к ближайшим планетам дали бы советским людям желание жить при социализме в рамках уже нового союзного договора, а всем землянам – новые надежды на будущее (вспомним эпохальный полёт Ю.А. Гага-

рина). Хотя, скорее всего, такие дорогие проекты можно реализовать лишь сообща путём международной кооперации и совместного финансирования, поскольку в условиях постоянных мировых кризисных явлений они – дорогое удовольствие. Но без таких проектов нет будущего у людей Земли.

В завершение раздела отметим, что формы траекторий перелёта на Венеру мы обычно рассматривали в гелиоцентрических координатах (т.е. относительно Солнца). Если же наблюдать за движением корабля с Земли, то увидим примерно такой характер перемещений Венеры и корабля на звёздном небе, как это показано на рис.26.

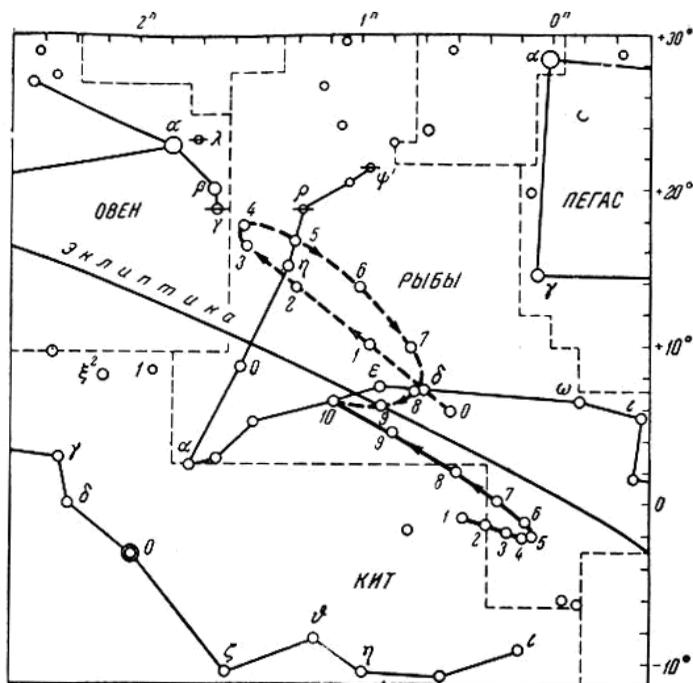


Рис.26. Видимое движение автоматической межпланетной станции «Венера-4» (сплошная линия) и самой Венеры (пунктир) на земном небе. Кружками показаны положения станции на промежутках времени 10 суток [1].

#### 4. Спуск с орбиты большого челнока-аэростата и его стабилизация на заданной высоте

Спуск с орбиты значительной массы в мощной атмосфере представляет значительную проблему, связанную с опасностью перегрева и разгерметизации – с одной стороны, а с другой – при недостаточном угле входа корабль может отбросить в космическое пространство. Однако, такое задание уже решалось на Земле в рамках миссий космических челноков. Правда, вместо приземления теперь предусматривается зависание корабля на высотах свыше 50 км после его торможения и активизации водородных баллонов. Поскольку на корабле будут люди, важно, что перегрузка самолёта окажется незначительной (до двух  $g$ , см. книгу – математическое приложение к этой). Отсутствие проблемы приземления в конкретную точку значительно всё упрощает и поэтому процесс торможения челнока можно сделать ещё плавнее (кроме выхода на вертикаль).



Рис.27. Этапы создания аэростатной станции: 1 – перед входом в плотные слои атмосферы; 2 – активный участок торможения; 3 - выход на вертикаль; 4 – раскрытие и наполнение баллонов водородом; 5 – стабилизация на высотах свыше 50 км; 6 – начало дрейфа.

В земной атмосфере «Буран» позволяет снять с орбиты груз до 20 т (см. описание в Приложениях). Поскольку венерианская атмосфера мощнее, то эту массу, возможно, удастся немного увеличить. Поэтому, наши оценки количества водорода для аэростата (10 т) и оболочки для него (10 т) можно считать приемлемыми. Правда, несколько дополнительных тонн понадобятся для противорадиационного укрытия экипажа на пути к Венере (они будут не лишними и на самой аэростатной станции), а также другого оборудования и приборов. Поэтому, общая масса для спуска с орбиты приближается к граничной и нужно будет всё очень тщательно просчитать.

Методика вхождения челноков в земную атмосферу на сегодня отработана и для Венеры каких-либо принципиальных отличий не будет, поскольку речь идёт о снижении до высот, где давление составляет величину в 1 атм. Приземление аппарата в каком-либо конкретном месте Венеры не предусматривается, поэтому выбор точки вхождения в густые слои атмосферы не имеет жёстких ограничений. После основного торможения со значительным перегревом и замедлением на высотах свыше 50 км настанёт ответственный момент наполнения аэростатных баллонов водородом и зависание корабля в атмосфере Венеры.

Включаются двигатели и челнок направляется вертикально вверх (рис.27), после чего двигатели постепенно выключают. Вертикальное движение вверх замедляется до полной остановки, после чего начинается падение. Те минуты малых скоростей, которые будет иметь «Буран», и можно использовать для раскрытия грузового отсека с одновременным наполнением баллонов. Вертикальное падение по мере увеличения их объёма будет замедляться до полной стабилизации. Колебания постепенно прекратятся и можно будет говорить о появлении первой пилотируемой венерианской водородной аэростатной станции. Описанные манипуляции нужно будет последовательно отработать в земных условиях сначала на меньших моделях, а потом - и для настоящего аппарата (но только с гелием вместо водорода). Только после этого его уже можно будет направить к Венере. На рис.28 показана кабина «Бурана», которая имеет три рабочих места, средства управления кораблём, навигационные устройства и средства радиосвязи.

## 5. Дрейф и обустройство жизнедеятельности экипажа аэростата. Производство кислорода, водорода и других материалов

«Скажут люди: эти двое исключительно герои,  
При такой бывать закуске - и ни разу не принять...»  
(Юрий Визбор, «Песня космонавтов»)

Стабилизация высоты аэростата означает исчезновение вредной для организма невесомости и установление на борту природной силы тяжести, близкой к земной. Это – чрезвычайно важное преимущество Венеры перед другими соседними с Землёй небесными телами (Луна, Марс, Меркурий, спутники больших планет). Мощная атмосфера планеты с озоновым слоем (но без магнитного поля) частично защитит колонистов от опасной радиации. Но основной защитой будет корпус «Бурана», а дополнительной на время отдыха экипажа – индивидуальные капсулы. При обеспечении нормального температурного режима условия на такой станции можно сделать достаточно комфортными. Правда, на высотах, близких до 50–60 км, на Венере



Рис.28. В кабине «Бурана». Органы управления аналогичны современному самолёту, однако есть очень много дополнительных функций.

постоянно действуют ураганы. Поэтому, условия здесь будут сходными с морскими во время шторма, а капсулы придётся размещать на компенсирующих подвесах. Силу штормов для создания соответствующих конструкций можно определить, предварительно запустив беспилотные водородные зонды.



Рис.29. «Буран» входит в атмосферу, предварительно погасив лишнюю скорость («Байкал» - его начальное имя, которое потом поменяли – вдруг выйдет «байка» после обгорания краски в атмосфере).

Конструкцией «Бурана» была предусмотрена возможность установки герметичной гондолы для экипажа с объёмом  $70 \text{ м}^3$ . Правда, необходимость иметь значительный объём жидкого водорода (а также значительно меньший кислорода) и пространство для аппаратуры могут существенно уменьшить этот объём. Однако, в условиях аэростатной станции он возрастет, причём добавится ещё и объём грузового отсека. После стабилизации баллонной станции можно разворачивать солнечные батареи. Есть надежда, что их мощность можно будет поднять выше 10 кВт (понадобится площадь батарей не менее  $50 \text{ м}^2$ ). На борту корабля необходимы также топливные элементы примерно такой же мощности (наибольшее подойдут водородные щелочные, проверенные миссиями «Аполлон»). И никаких ядерных реакторов, поскольку радиации и так будет предостаточно.

В отличие от водорода, большую часть кислорода можно вырабатывать на месте. Ведь на рабочих высотах аэростатной

станции атмосфера состоит преимущественно из углекислого газа. Поэтому, кислород можно добывать его разложением, используя энергию солнечных батарей, или в солнечных коллекторах. При снижении до облаков можно использовать и серную кислоту для добычи водорода, однако насколько это будет безопасно для корабля и даст ли значительные количества (водород и так есть в атмосфере выше)? Наличие кислорода и водорода на борту обеспечит экипаж водой и энергией, а отходы – углерод и сера – тоже могут пригодиться. Жизненно важными будут опыты по выращиванию растений в небольшой оранжерее (часть грузового отсека). Можно попытаться разводить кур или более мелких птиц, дающих мясо и яички – природную белковую пищу, если они, конечно, переживут невесомость перелёта к Венере. Ведь тяжесть на станции уже на месте будет почти нормальной. Отдыху экипажа в условиях меньших уровней радиации и громкости электромашинных устройств помогут капсулы-каюты, где космонавты смогут спать, читать книги, интернет-ресурсы, другую аудио- и видеоинформацию.

В Приложении показано каркасное строение «Бурана». Экипаж станции на основе этого корабля может состоять из двух и больше членов. Длительность работы одной смены будет определяться синодическим периодом Венеры между её сближениями с Землёй (584 сутки). Таким образом, одна экспедиция до её возвращения на Землю будет длиться около двух лет, а одна смена на станции – год и десять месяцев. Конечно, это будет очень тяжёлая и опасная смена, если сравнивать её с лунными миссиями американских астронавтов, каждая из которых длилась лишь немногим больше недели. Полученная доза радиации будет сравнима с черныбыльскими (наиболее опасен космический перелёт туда и обратно).

## **6. Радиолокация поверхности и спуск исследовательского самодвижущегося автомата. Перспектива батискафной базы**

Наличие на аэростате радиолокатора позволит детально исследовать рельеф планеты, а также мелкие объекты на её повер-

хности, несмотря на непрозрачность атмосферы. Ведь высота станции значительно меньше, чем для радиолокации с орбиты, поэтому и разрешающая способность существенно увеличится.

Важным средством изучения Венеры станет большой венероход, который сможет брать пробы грунта в разных местах, а также атмосферные пробы. Его смогут доставить следующие экспедиции. Изучение сейсмической активности, разнообразных излучений и звуков на поверхности планеты – ещё одно задание для такого самодвижущегося автомата. Управление венероходом можно осуществлять с орбиты с помощью спутника с последующей передачей информации на аэростатную станцию.

Первым шагом для колонизации поверхности Венеры должна стать батискафная база. Как и на больших глубинах мирового океана Земли, на поверхности планеты существует высокое давление, поэтому нужен батискаф. Однако, здесь, в отличие от земных океанских глубин, присутствуют и высокие температуры. Поэтому возникает потребность постоянного охлаждения, а для этого нужна энергия и надёжная теплоизоляция базы. Жидкий водород идеально выполнит эти функции.

Таким образом, наличие жидкого водорода на базе *просто необходимо*. Во-первых, это – эффективный хладагент. Во-вторых – энергоисточник для топливных элементов, которые смогут обеспечить электроэнергией холодильную аппаратуру. В-третьих, водород будет аккумулятором ветровой или тепловой энергии. На длинных тросах можно подвесить аэростат с ветрогенератором. К сожалению, вследствие значительной облачности использование солнечной энергии на поверхности Венеры малоэффективно. Можно воспользоваться и ядерным реактором, например, на термоэлементах (холодный спай обеспечивает жидкий водород, а горячий – реактор). Однако, горячая атмосфера Венеры также может быть горячим спаем и без реактора, если есть жидкий водород.

Главная задача базы – быть отправной точкой и средством для размещения космонавтами на поверхности планеты системы сейсмодатчиков для исследования её тектонической активности. Но очень важным этапом станет и начало переработки на поверхности Венеры углекислого газа для производства так необходимых кислорода и углерода. Из последнего можно будет про-

изводить прочные и лёгкие технические конструкции (углепластик), а также использовать его в качестве удобрения для растений. Произведенные кислород и углеродные соединения пригодятся и на аэростатной станции.

Под поверхностью Венеры температура может оказаться ниже той, которая есть на поверхности ( 400-500°С, давление - выше 93 атм). Если так, то батискафную базу будет иметь смысл размещать под поверхностью планеты. Понятно, что этим можно частично решить проблему высоких температур (если гипотеза о более низких температурах подтвердится). Тут также удобно будет хранить воду и другие ресурсы.



Рис.30. Фото поверхности Венеры (станция «Венера-13»).

## **7. Спуск на станцию, стыковка и подъём малого челнока на орбиту Венеры для замены экипажа**

«Наше старое корыто нас выводит на орбиту  
В коммунальную квартиру под названием «Салют»»  
(Юрий Визбор, «Песня космонавтов»)

Для обмена экипажами и спуска с орбиты корабля для следующей миссии можно использовать более лёгкий космический самолёт (типа «Спираль», см. Приложение и обложку книги). В своё время военное руководство СССР не поддержало идею за-

вершения испытаний 10-тонного, т.е. на порядок более лёгкого, чем «Буран», челнока, который бы легко сходил с орбиты для приземления. На орбиту его можно было бы выносить значительно проще, чем 105-тонный «Буран», даже с помощью гиперзвукового самолёта (воздушный старт), или ракетой среднего класса. На Венере для доставки «Спирали» на орбиту с двумя космонавтами, которые отработали свою смену, можно использовать опыт твердотопливных ускорителей, наработанный в рамках миссий «Спейс-Шаттл» и для других носителей. При этом нужны будут даже значительно меньших размеров разгонные блоки, однако с защитой от высоких температур, поскольку предполагается предварительный спуск с орбиты в очень плотную атмосферу. Раньше этого никто и никогда не делал.

Следующая экспедиция привозит «Спираль» вместе с орбитальной станцией и отдельный корабль с топливом для отправки первой смены домой. Впрочем, это можно сделать и двумя стартами с интервалом в несколько дней сверхтяжёлыми ракетами типа «Сатурн-5» или «Вулкан». Если орбитальной станцией тоже является «Буран», челнок можно поместить в его грузовой отсек. Таким образом, спуск «Спирали» с орбиты производится вместе с двумя твердотопливными ускорителями и запасом водорода для аэростатного баллона (масса 1-2 т).

После достижения высот над облаками вблизи основной аэростатной станции проводится такой же манёвр с выпуском водорода, как и для «Бурана» (рис.27). Дальше челнок с ускорителями стабилизируется на той же высоте и с помощью своего двигателя подводится к станции, после чего проводят их стыковку (из грузового отсека «Бурана» выстреливается канат, который захватывают космонавты «Спирали»). После обмена космонавтами и собранными материалами баллоны малого челнока передаются «Бурану» для пополнения запасов энергии станции, а дальше включаются разгонные блоки, придающие нужную скорость для выхода на орбиту.

После выгорания топлива в разгонных блоках челнок их сбрасывает и с помощью собственных двигателей выходит на орбиту для стыковки с орбитальной станцией. Дальше происходит сама стыковка с ракетой для отправки отработавшей смены на Землю.

## **8. Возвращение на Землю первой миссии после прибытия новой смены**

На наш взгляд, марсианские миссии в один конец (без возвращения), которые сегодня активно пропагандируются, являются неприемлемыми. Обязательно должно быть предусмотрено возвращение экипажей, которые отработали синодический период, на Землю. Ведь условия межпланетных перелётов и работы на станции чрезвычайно вредны и опасны, поэтому жизненно необходима реабилитация человеческого организма. А она после тяжёлых космических будней полноценно возможна лишь в земных условиях. Посылать людей в нечеловеческие условия отсутствия тяжести и полноценного питания, огромных доз радиации и без всякой надежды на возвращение просто бесчеловечно.

Как уже отмечалось, наиболее энергетически выгодной является гомановская траектория. Поэтому, учитывая ограниченность запасов водородного топлива и значительную массу корабля, для полёта на Венеру и возвращения на Землю именно её следует рассматривать как наиболее приемлемую среди других. Аргумент отсутствия связи с Землёй при подлёте к Венере на такой траектории для пилотируемого полёта является не критичным, поскольку всё необходимое у космонавтов будет на месте. Конечно, это касается лишь первого этапа освоения межпланетного пространства. С появлением более экономных средств (космический парус, ионные двигатели) станут возможными и более короткие траектории возвращения пилотируемых экспедиций.

После приготовлений на орбите космонавты отлетают на Землю, причём прибытие на неё может происходить так, как это выполняли астронавты миссий «Аполлон» (вход в атмосферу в защищённом модуле с раскрытием парашютов и приводнением), или с помощью космического самолёта.

## **Часть 2. Водород и перспективы его использования в различных областях**

*«Водород имеет несравнимое с другими элементами господствующее положение в химии мироздания»  
(В.И. Вернадский)*

### **Раздел 1. Водород как химический элемент и экологически чистый аккумулятор энергии**

#### **1. Удивительные свойства водорода и его агрегатные состояния**

Возможности накопления электроэнергии, выделяемой Солнцем, ветром или водой (гидроэнергия), ограничены. Это можно объяснить тем, что кислотные и щелочные аккумуляторы довольно дороги и имеют незначительную вместимость заряда, если сравнивать их с энергоёмкостью традиционных углеводородных топлив или возобновляемых биотоплив (дрова сухие, метиловый и этиловый спирты, торф и т.п.). К тому же, такие аккумуляторы довольно массивны, поэтому они мало пригодны (особенно свинцовые аккумуляторы) для транспортных установок длительного действия. Существенным недостатком кислотных и щелочных аккумуляторов является также ограниченное количество циклов их зарядки и разрядки. При этом кислотные аккумуляторы ещё и не допускают полного разряда, поскольку на их пластинах происходит сульфатация.

От указанных недостатков свободны конденсаторы. Их можно заряжать и разряжать неограниченное количество раз. Однако, электрическая энергоёмкость конденсаторов, даже электролитических, на единицу массы или объёма значительно меньше, чем у аккумуляторов. Последнее время развиваются и входят в употребление так называемые суперконденсаторы или ионисторы. Их ёмкость значительно больше, хотя ещё и далека от наилучших аккумуляторов. Однако, они быстро прогрессируют. Как и для обычных конденсаторов, ухудшение их способности быстро заряжаться и разряжаться после десятков

и сотен тысяч циклов не замечено. В Китае даже пытаются вместо троллейбусных и трамвайных линий строить беспроводные электрические пассажирские вагоны, ионисторные батареи которых подзаряжаются на городских остановках.

Однако, на сегодня существует прекрасный выход из этого затруднительного положения: довольно значительные излишки электроэнергии, если не все, можно накапливать, вырабатывая водород из воды. Его также можно производить разложением лёгких углеводородов с помощью той же электроэнергии или прямым солнечным излучением в гелиоконцентраторах (параболическое зеркало).

Водород (H) - в переводе с латинского «гидроген» или порождающий воду – простейший и наиболее лёгкий атом в природе. Его главный изотоп называют *протием*. Он содержит в ядре лишь протон, вокруг которого вращается электрон. Чтобы оторвать этот электрон, нужна энергия 13,595 эВ, которую называют энергией ионизации атома ( $1 \text{ эВ} = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ ). Радиус атома водорода связан со свойствами электронного облака. Его можно считать близким  $0,46 \text{ \AA} = 0,046 \text{ нм}$ . Таким образом, размер атома водорода примерно равен 1 Ангстрем, т.е.  $10^{-10} \text{ м}$ . Другие изотопы водорода содержат в ядре дополнительный нейтрон (атом *дейтерия* D) или два нейтрона (атом *трития* T, ядро которого неустойчиво с периодом полураспада 12,4 лет). Водород при нормальных условиях – это газ без цвета, запаха и вкуса (имеет плотность  $0,0899 \text{ кг/м}^3$ ). Диффундирует сквозь металлы и очень хорошо в них растворяется (особенно в палладии: до 850 объёмов водорода на один объём палладия, а также в никеле и платине). При этом, в кристаллической решётке молекулярный водород переходит в атомарное состояние, причём уже на поверхности металла. Интересно, что, заходя в сталь, водород может выйти из неё в виде молекул метана, поскольку «захватывает» с собой атомы углерода. Последний в сплав с железом добавляют для создания большей прочности. Среди газов водород имеет наибольшую теплопроводность (в твёрдом состоянии при низких температурах его превосходит лишь твёрдый гелий).

Два атома водорода, благодаря обменному взаимодействию электронами, образуют устойчивую пару – молекулу водорода  $H_2$  (или HD,  $D_2$ , HT, DT,  $T_2$ ). На Земле водород составляет приблизительно 1% её массы (16% от количества атомов). Однако звёзды более, чем на половину их массы, состоят именно из водорода. Для них, как уже раньше отмечалось, он является основным термоядерным топливом. Много водорода находится в межзвёздном пространстве. Это – остатки Большого взрыва (после образования нуклонов из кваркового «супа» вследствие уменьшения его температуры из-за адиабатического расширения полтора десятка миллиардов лет назад – продолжается и сейчас), которые не вошли в состав нынешних звёзд и их планет, а также звёздные ветры. На Земле в свободном состоянии водород почти не встречается, поскольку образует соединения преимущественно с кислородом (O), углеродом (C), серой (S), азотом (N) и хлором (Cl). Это – хорошо нам знакомые вода, углеводородные топлива, сероводород, аммиак, соляная кислота, а также более сложные соединения этих химических элементов, например, - спирты.

Содержание дейтерия в природном водороде составляет примерно 0,01 ат. % (по массе 0,016 %). Таким образом, чтобы встретить молекулу водорода хотя бы с одним атомом дейтерия, нужно перебрать в среднем 5 000 молекул. Ядерные спины атомов в молекуле могут быть параллельными (ортомолекула или ортоводород  $o\text{-}H_2$ ) и антипараллельными (парамолекула или параводород  $p\text{-}H_2$ ). При нормальных условиях водород содержит 75 % ортомолекул и 25 % парамолекул. При снижении температуры количество  $p\text{-}H_2$  возрастает и при достижении жидкого состояния (20,4 К) их количество уже составляет 99,8 %, т.е. молекул  $o\text{-}H_2$  остаётся лишь 0,2 %. При дальнейшем снижении температуры *равновесная* концентрация  $o\text{-}H_2$  продолжает уменьшаться.

Водород затвердевает при 13,8 К ( $-259^\circ\text{C}$ ). *Жидкий* параводород при 20,4 К и давлении вблизи нормального атмосферного (760 мм рт. ст.=101325 Па) имеет плотность 71 кг/м<sup>3</sup>. Под давлением свыше 1 млн. атм твердый водород становится металлом, который при ещё больших давлениях (миллионы атм) переходит в сверхпроводящее состояние. При этом предпола-

гают, что он может быть метастабильным, как кристаллы алмаза, когда исчезновение высокого давления не вызывает распада сформировавшейся кристаллической структуры (т.е. не происходит переход в графит). Некоторые астрофизики считают, что именно такими, преимущественно водородными и сверхпроводящими, могут быть ядра планет-гигантов Солнечной системы (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун), которые имеют мощные магнитные поля. Нормальная плотность *твёрдого* водорода равна  $76 \text{ кг/м}^3$ . Сегодня высказывается мысль, что ядро Земли, которое традиционно считали металлическим, является скорее гидридным. Это означает, что оно может подпитывать нашу планету водой и метаном, благодаря выходу чрезвычайно подвижного водорода на её поверхность (совместно с кислородом и углеродом). О гипотезе В.Н. Ларина [18, 20] мы ещё поговорим в третьей главе этой книги.

## 2. Энергоотдача атомарного водорода при образовании молекулы и молекулярного водорода при его горении в атмосфере кислорода

При образовании молекул  $\text{H}_2$  из атомарного водорода выделяется энергия  $436 \text{ кДж/моль}$ , или на одну пару  $436/N_A=4,5 \text{ эВ}$ , где  $N_A=6,0220 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$  - число Авогадро. Таким образом,  $1 \text{ кг}$  атомарного водорода, образуя  $500 \text{ моль}$  молекулярного, выделяет  $218 \text{ МДж}$  энергии. Сам атомарный водород из молекулярного можно получить с помощью электрических разрядов, высоких температур или ионизирующего излучения. Для ионизации атома водорода нужна энергия  $13,6 \text{ эВ}$ . Она же выделится при возвращении плазмы протонов в атомарное состояние. Для одного моля молекулярного водорода имеем:

$$13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot N_A \cdot 2 = 2,6 \text{ МДж.}$$

Таким образом,  $1 \text{ кг}$  водорода при возвращении его из состояния плазмы в атомарный газ выделяет  $1300 \text{ МДж}$ ! Но и эта энергия – ничто по сравнению с энергией синтеза ядер водорода в ядра гелия (см. дальше).

Водород хорошо горит в атмосфере кислорода, выделяя  $143,1 \text{ Мдж/кг}$  (в 3-4 раза больше, чем жидкие углеводороды – рекорд-

смены среди традиционных топлив). При этом продуктом реакции является вода. Можно подсчитать, что 1 кг чистого водорода, кроме энергии, даёт 9 кг дистиллированной воды.

### 3. Топливный элемент как источник электроэнергии

Одними из наиболее перспективных источников для энергетики будущего считаются топливные элементы. Это – электрохимические устройства для производства электроэнергии. В отличие от гальванических элементов или электрических аккумуляторов (кислотные, щелочные), вещества для электрохимической реакции подаются в него извне. Топливный элемент можно также сравнивать с природным топливным элементом живых клеток – митохондрией. Однако, главным продуктом деятельности последней является не столько электроэнергия, сколько универсальный источник энергии для всех биохимических процессов – аденозинтрифосфорная кислота (АТФ).

На сегодня существуют много разновидностей топливных элементов, которые работают на водороде, метане, метаноле, этаноле. Однако, наиболее изученным и исторически первым является водородный щелочной топливный элемент. Ещё в 60-х годах прошлого столетия такие источники электроэнергии были созданы в NASA и использовались на американских «Аполлонах», летавших на Луну. На рис.31 показаны общее строение и работа щелочного топливного элемента.

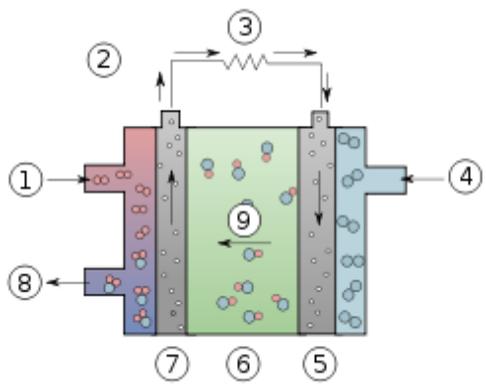


Рис. 31. Схема щелочного топливного элемента [2]:

- 1 – водород;
- 2- электроны;
- 3 – нагрузка;
- 4 – кислород;
- 5 – катод;
- 6 – электролит;
- 7 – анод;
- 8 – вода;
- 9 – ионы OH<sup>-</sup>.

Топливные элементы имеют высокий кпд. Например, для щелочных водородно-кислородных ячеек теоретический коэффициент превращения химической энергии в электрическую (один из самых больших среди топливных элементов) от такого медленного низкотемпературного «горения» водорода достигает 70-80 %. Electroдами обычно являются пористые угольные пластины, покрытые катализатором (платина или платиноидный сплав). Electroлит – щёлочь (обычно KOH). В топливном элементе поток реагентов с выделением продукта реакции (вода) является постоянным процессом и происходит, пока подаются вещества и не накапливаются примеси, которые «отравляют» катализатор. Поэтому, водород следует подавать очень чистым. Это требование электролизный водород хорошо удовлетворяет. В качестве Electroдов можно взять платиновую проволоку (или никелевый, покрытый шаром платины), как это делают в демонстрационных топливных элементах.

Во время работы топливного элемента в нём происходят процессы, противоположные электролизу. На катализаторе анода (рис.31, в отношении внешней части цепи этот Electroд имеет отрицательный потенциал) молекулярный водород диссоциирует на атомы и теряет электроны, которые передаются во внешнюю цепь (напомним, что направление тока во внешней цепи противоположно направлению движения электронов проводимости). Ионы водорода осуществляют движение через Electroлит на катод, куда по внешней цепи движутся электроны. Вместо едкой щёлочи Electroлитом могут служить ионообменные полимерные или керамические (оксидные) мембраны, которые обеспечивают проводимость протонов, но не электронов. На катализаторе катода молекулы кислорода присоединяют электроны, которые приходят через внешнюю цепь, и водород (протоны) из Electroлита, образуя воду. При этом между Electroдами возникает внешняя ЭДС величиной 1,23 В. Поскольку внутреннее сопротивление Electroлита мало, можно последовательно набрать батарею таких элементов, значительно увеличив общую ЭДС. Можно также создать много таких ветвей из топливных ячеек, что обеспечит и достаточно большое напряжение, и многокиловаттные мощности. В частности, как уже отмечалось, именно водородные топливные ячейки обеспечивали элект-

тричеством аппаратуру американской лунной программы. При этом использовали остатки водородного топлива третьей ступени ракеты «Сатурн-5».

Хотя топливные элементы не могут накапливать электроэнергию, в отличие от аккумуляторов и гальванических элементов, но совместно с электролизёром, который вырабатывает водород и кислород из воды с помощью любого энергоисточника (ветрогенератор, солнечная батарея или ядерный реактор), и водородного резервуара с компрессором они образуют систему для хранения электроэнергии значительно больших объёмов. Общий кпд такой установки составляет величину 30-40%. Водород может выполнить работу и прямым сжиганием в двигателе внутреннего сгорания. Но топливный элемент является хотя и более дорогим, но безмашинным устройством и имеет значительно более высокий кпд.

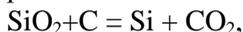
#### **4. Использование водорода для производства синтетических бензинов (гидрогенизация углей) и в восстановительных химических реакциях**

Ещё до начала мировых войн XX столетия учёными-химиками была исследована возможность превращения каменного угля в синтетические бензины путём его гидрогенизации под давлением водорода при высоких температурах в форму тяжёлых углеводородов (синтетический бензин). Особенных успехов в этом впоследствии достигли учёные Германии, поскольку эта страна не имела больших запасов нефти, но владела значительными месторождениями углей. В 1944 году промышленное производство синтетических бензинов немецкого Рейха достигло 4 млн. тонн, что позволяло обеспечивать топливом 90 % воздушного транспорта и половину наземного (остальное, вероятно, давали месторождения нефти в Румынии). Этот рекорд с тех пор не был побит и до сегодняшнего дня ни в одной из стран мира. Сейчас в связи с относительно дешёвой ценой на нефть на мировых рынках экономисты считают, что производство синтетических бензинов не является выгодным. Однако

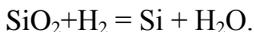
ситуация будет постепенно меняться в пользу их производства, а также газификации залежей углей, особенно худших сортов.

Водород широко используют и для гидрогенизации жидких пищевых растительных жиров с целью их превращения в твёрдые (маргарины). Поскольку более затратное животноводство не может полностью обеспечить растущее население планеты качественным сливочным маслом, маргарин при условии выдерживания высоких стандартов производства тоже может считаться важным пищевым жировым продуктом в условиях дефицита еды. Ведь по данным всемирных исследовательских организаций сегодня примерно 1 млрд населения планеты голодает.

В связи с бурным развитием компьютерных полупроводниковых технологий и солнечной энергетики сегодня требуется всё больше высокочистого кремния. Его добывают из песка ( $\text{SiO}_2$ ), восстанавливая расплав этого окисла сначала углеродом:



а затем для более высокого качества и чистоты с помощью водорода:



Кремний, конечно, можно было бы получать и безуглеродным методом, однако водород оказывается значительно дороже, чем углерод, а кремния в мире требуется с каждым годом всё больше. И, наконец, в очень сложной и до конца ещё не изученной цепочке реакций фотосинтеза водород тоже восстанавливает, но теперь уже углерод из углекислого газа  $\text{CO}_2$ . Этот процесс мы ещё будем рассматривать более детально дальше.

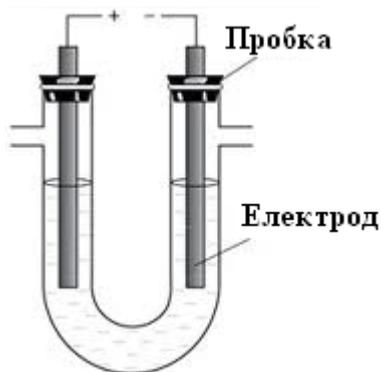
## **Роздел 2. Производство водорода электролизом и его хранение**

### **1. Электролиз воды для получения водорода**

Сравнительно небольшое количество водорода (и, одновременно, кислорода) можно получить путём электролиза воды при давлениях 1-40 атм [32]. Это позволяет производить 4-500 м<sup>3</sup>/час при фактических затратах электроэнергии 5-5,5 кВт·час на 1 м<sup>3</sup> водорода (теоретические расчёты дают 3,5-4 кВт·час на 1 м<sup>3</sup> H<sub>2</sub>).

В качестве электролита обычно используют водный раствор едкого калия КОН (350-400 г/л). При его отсутствии можно сначала произвести электролизом из кухонной соли (NaCl) едкий натр (NaOH), который потом и использовать для получения водорода. Но при этом следует помнить, что хлор, который будет выделяться на аноде, ядовит (а водород в смеси с кислородом – взрывоопасен). В реакции получения водорода щёлочь не расходуется, т.е. её можно считать катализатором, который улучшает проводимость воды. Для грубых оценок можно считать, что на производство 1 кг водорода электролизом воды требуется *примерно 200 МДж* электроэнергии (на его ожижение нужно будет дополнительно около 100 МДж). На один объём произведенного кислорода будем иметь два объёма водорода, а по массе водорода будет меньше в восемь раз.

Таким образом, жидкий водород сможет вернуть *лишь половину энергии*, потраченной на его производство путём электролиза воды. Поэтому, такое производство водорода может быть оправдано лишь тогда, когда имеются излишки электроэнергии, которую нужно запасать. Преимущество электролиза, в сравнение с более дешёвыми методами (см. дальше), состоит в отсутствии примесей, если отделять кислород в отдельную камеру.



(А)



(Б)

Рис. 32. Электролизёры для производства водорода: А – с разделением водорода и кислорода; Б - без деления компонентов (гремучая смесь).

На рис.32 показаны два типа простых электролизёров, которые можно изготовить даже в домашних условиях при соблюдении требований взрыво- и пожарной безопасности. Можно отметить, что водородная опасность (чистый водород) практически не превышает таковую для бытового природного газа, львиную долю которого, как известно, составляет метан. Особенно это справедливо, если применяется жидкий водород.

Электролизёр с разделением водорода и кислорода (А) позволяет сразу получить чистый водород. Однако, следует иметь ввиду, что напряжение между электродами должно быть не выше 2 В, иначе возрастают непрямые потери электроэнергии вследствие теплового рассеяния, т.е. с ростом напряжения быстро падает КПД электролизёра. Поэтому понятно, что требуется много последовательно и параллельно соединённых ячеек для высокопроизводительной установки водородного электролиза.

Случай (Б) иллюстрирует электролизёр, который производит гремучий газ (одна объёмная часть кислорода и две водорода). Он сразу позволяет получить значительно большие количества водорода за более короткое время (при высоком КПД). Пластины можно разместить и горизонтально, просто сложив их одна на другую через изолирующие пробки с соответствующим подключением последовательно или параллельно. Однако, следует помнить, что в 1 кг полученной гремучей смеси водорода будет всего 1/9 часть от общей массы, а остальное - кислород. Далее нужно будет отделить кислород от водорода. Правда, в мало-мощных водородных сварочных аппаратах и автомобильных установках [31-32] такое разделение можно не проводить, а использовать между горелкой и электролизёром водяной затвор (бульбулятор) или другой отсекающий пламени максимально близко к горелке. То же можно сказать и о перспективной легкогазовой водородной пушке (позволяет в 2-3 раза повысить начальную скорость снаряда по сравнению с традиционной пороховой). Следует помнить, что гремучая смесь очень взрывоопасна, особенно при нагреваниях, даже, на первый взгляд, и незначительных.

**Пример.** Электролизёр работает от постоянного напряжения 12 В (шесть ячеек) на токе 30 А при обычном атмосферном давлении, производя 2 л/мин. гремучей смеси. Исходя из оптимальных теоретических затрат электроэнергии 3,5 кВт·час на 1 м<sup>3</sup> водорода, определить КПД данного электролизёра.

*Решение.* Имеем электрическую мощность электролизёра 0,36 кВт. Для производства 1 м<sup>3</sup> водорода нужно 1,5 м<sup>3</sup> гремучей смеси, которую он выделит за  $1500/2=750$  мин=12,5 час. Таким образом, для производства кубометра водорода потребуется  $0,36 \cdot 12,5=4,5$  кВт·час электроэнергии. Соответствующий КПД данного электролизёра равен  $3,5/4,5=0,78$ , т.е. примерно 80%.

Разделение гремучей смеси на кислород и водород легко выполнить, если имеется в наличии жидкий азот: при его температурах кислород ожижается, а водород остаётся газообразным. Но понятно, что далеко не всегда такая возможность есть. Разделение газов можно сделать и с помощью жидкого водорода. При этом температуру сепаратора нужно поддерживать выше 20 К, чтобы не ожигался и водород. Правда, жидкий водород можно будет слить в криопосуду, поскольку кислород и другие примеси вымерзнут. Нужно отметить, что работы с жидким водородом в домашних условиях допустимы лишь для изолированной усадьбы при условии достаточного владения жильцами правил обращения с этой аппаратурой. Интересно, что, благодаря низким температурам, опасность взрыва и пожара оказывается меньше, чем для газообразного водорода (как, впрочем, и метана) в баллонах высокого давления при обычных температурах. Известны случаи самовозгорания водорода при его выходе из баллона высокого давления (или в местах подтеканий трубопроводов высокого давления). Такие явления ещё мало изучены, поэтому в водород под высоким давлением в больших его объёмах добавляют ингибиторы, подавляющие потенциальную возможность самовозгорания. Но при низких температурах и обычных давлениях такие проблемы с водородом не возникают.

## 2. Некоторые другие перспективные вещества для производства водорода

В отдельных случаях для получения чистого водорода электролизом или терморазложением (пиролиз) представляют интерес другие вещества, например, – кислоты. Теперь уже известно, что на Венере облака преимущественно состоят из капелек серной кислоты, поэтому её электролиз с аэростатов также позволил бы производить водород, используя электроэнергию от солнечных батарей. Это означает, что не нужно будет везти с собой значительные запасы воды и водорода для аэростатов (воздух на Венере не содержит кислорода), чтобы начать колонизацию этой планеты. Имея водород и добывая кислород из  $\text{CO}_2$  венерианской атмосферы, которая на порядок мощнее земной, можно производить значительные количества воды для оранжерей и бытовых целей.

Однако, вернёмся на Землю. Интересной представляется перспектива добычи на черноморском побережье сероводорода из морской воды. Его значительные запасы здесь тоже могут стать источником водорода, а также серы. Дело в том, что, благодаря деятельности сероводородных бактерий в течение многих миллионов лет, а также возможного поступления сероводорода из трещин в земной коре, Чёрное море оказалось почти полностью отравлено этим газом. Лишь его верхний слой (возле берега – до 300 м, а далеко от берега – всего десятки метров) населён живыми существами и не содержит этого, в одних случаях, вредного и, одновременно, полезного в других горючего газа. Поэтому, переработка его в водород и серу, кроме энергообеспечения, могла бы стать важной природоохранной мерой.

Сероводород в Чёрном море был выявлен российской океанографической экспедицией в 1890 году. Согласно существующим сведениям, на сегодня 90 % воды моря отравлено этим газом. В этих 90% нет жизни, которая теплится лишь в небольшом слое близ поверхности, куда ещё не проник сероводород, благодаря окислительному действию атмосферного кислорода. В 1990 году учёные дали прогноз динамики уменьшения толщины этого верхнего слоя Чёрного моря за период с 1890 по 2020 го-

ды. Она оказалась такой, что в конце этого периода слой чистой воды будет составлять только 15 метров при общих глубинах моря свыше километра. Правда, сейчас реальная ситуация ещё пока не настолько катастрофична. Таким образом, сероводород Чёрного моря — одна из проблем, которая в недалёком будущем может привести даже к *экологической катастрофе* - взрыву сероводорода. Среди возможных причин такого взрыва называют: землетрясение и вспышку после выброса сероводорода, когда его слой станет очень тонким, прорыв трубопровода на черноморском дне (например, газового «Южного потока», если он будет всё же построен Россией).

Следствиями такой катастрофы могут стать: превращение черноморского бассейна в зону экологического бедствия, гибель всех морских животных и значительной части прибрежного населения (Украина, Россия, Турция и другие страны). Это даже может стать механизмом запуска цепи землетрясений по всему миру, мощных выбросов серной кислоты в атмосферу, что вызовет кислотные дожди в глобальных масштабах. Похожие случаи, но пока в меньших масштабах, здесь уже случались ранее. Так, например, в 1928 году после Ялтинского землетрясения (последствия тогда очень скупо освещались в прессе) жители прибрежных районов ощущали стойкий запах сероводорода, молнии на море создавали огненные столбы высотой во много сотен метров. В то время слой чистой воды был мощнее (до 200 м далеко от берега), что могло стать некоторым предохранителем от развития более масштабных событий. Уже в наше время, 30 мая 2007 года, возле Нового Афона погибло много дельфинов, вода стала мутно-жёлтой с резким неприятным запахом.

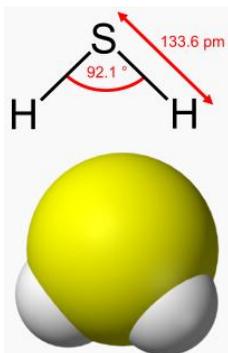


Рис. 33. Молекула сероводорода и её геометрия.

На рис.33 изображена сероводородная молекула (сульфид водорода  $H_2S$ ). Она несимметрична и имеет собственный дипольный момент, т.е. полярная ( $\mu = 0,34 \cdot 10^{-29}$  Кл·м). Сероводород довольно слабо растворяется в воде, но очень хорошо в этаноле, особенно с повышением температуры. Он очень ядовит и при больших концентрациях реагирует со многими металлами. Горит при концентрациях в воздухе 4,5 — 45 %. В природе встречается довольно редко, главным образом - как примесь (может входить в состав нефтей и природных газов, в том числе - вулканических). Также образуется при гниении белков. Его используют в лечебных целях (сероводородные ванны). Теоретически устойчив до температуры  $400^\circ C$ , выше которой начинает разлагаться на серу и водород. В отличие от воды, его молекулы почти не образуют водородных связей, поэтому сероводород при нормальных условиях и является газом.

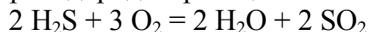
Что касается химических свойств, то в воде сероводород образует с ней слабую сероводородную кислоту (не серную). Как и водород, сероводород - сильный восстановитель. На воздухе горит синим пламенем (при недостатке кислорода образует воду с выделением чистой серы – один из промышленных способов её добычи, серу добавляют к асфальтам при строительстве очень прочных дорог, а также при производстве сахара и дымного пороха). Сероводород также используют для получения серной кислоты. Но, наверно, самая интересная перспектива для Украины и других причерноморских стран – сероводородная энергетика, а в особенности - водородная.

Биологически сероводород имеет антинекротические и противовоспалительные свойства, активирует антиоксидантные системы организма. Однако, его значительная токсичность вызывает обморок, головные боли, тошноту, судороги, отёки лёгких и даже летальный исход (в больших дозах может приводить к мгновенной смерти даже при одном вдохе).

Некоторые эксперты считают, что для детонации всего сероводорода Чёрного моря достаточно мощности заряда в несколько десятков килотонн. При этом последствия будут похожи на падение гигантского астероида (размерами с Луну), поскольку запасы сероводорода в Чёрном море очень большие. Поэтому, планы строительства газовой магистрали по его дну чрезвычай-

но опасны своими возможными последствиями - могут пострадать миллионы людей и природа большого региона. Добыча водорода, наоборот, укрепит позиции энергетики стран этого региона, однако для заметного эффекта от таких вложений нужно и профинансировать *весьма значительными средствами*.

При горении сероводорода в реакции:



выделяется тепла примерно 268 ккал/моль, если есть избыток кислорода. Для сравнения при сгорании водорода в кислороде (реакция  $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{H}_2\text{O}$ ) выделяется примерно 68.4 ккал/моль. Поскольку прямое сжигание даёт вредную двуокись серы, то, конечно же, предварительное получение водорода является значительно лучшим способом энергопроизводства, учитывая не очень большие тепловые затраты и температуры разложения  $\text{H}_2\text{S}$ .

Сжигание двуокиси серы даёт её триокись, которая при взаимодействии с водой позволяет получать серную кислоту:



При этом выделяется довольно много тепла (194 ккал/моль).

Добыча сероводорода из глубин облегчается тем, что при откачивании происходит кипение его при прогреве на меньшей глубине вследствие быстрого уменьшения растворимости и гидростатического давления. Для борьбы с нарастанием сероводородной угрозы предлагают также разные способы перемешивания пресной воды рек (Днепр, Дон и другие) гравитационным спуском её на глубину для улучшения условий окисления сероводорода атмосферным кислородом (рис.34).

Интересно, что во время Ялтинского землетрясения местные жители видимо наблюдали более высокотемпературную реакцию горения сероводорода, когда непосредственно может образовываться серная кислота. Электропроводность водяного раствора  $\text{H}_2\text{S}$  больше за таковую для чистой морской воды. Поэтому электрические грозовые разряды чаще попадали именно на участки выхода сероводорода. Цепная реакция тогда не возникла, благодаря довольно толстому слою чистой воды. А если такое случится в близком будущем? Поэтому, очищение от сероводорода Чёрного моря – *срочная необходимость*. Ведь, предположительно, именно жизнедеятельность

людей уже ускорила сокращение толщины этого слоя от сотен метров до десятков (до 10-15 метров в некоторых местах).

По некоторым оценкам, в начале XX века река Дон давала в Азово-Чёрноморский бассейн до  $36 \text{ км}^3$  пресной воды в год. К началу 80-х годов этот объём сократился до  $19 \text{ км}^3$ , «благодаря» металлургической промышленности, ирригационным сооружениям для орошения полей, городским водопроводам. Введение Волго-донской атомной станции привело к изъятию ещё  $4 \text{ км}^3$  воды. Аналогичная ситуация сложилась за годы индустриализации на других больших реках бассейна (Днепр, Дунай, Днестр, Южный Буг).

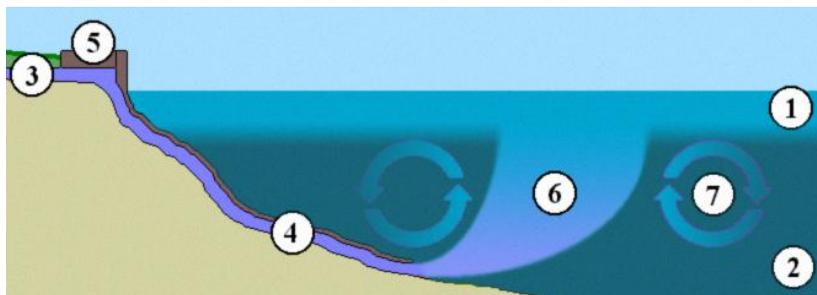


Рис. 34. Идея смешивания пресных речных вод с глубинными черноморскими (Виктор Колдун) для уменьшения в них содержания сероводорода: 1 – верхний слой без сероводорода (10-15 м на глубинах); 2 – сероводородная зона (90% общего объёма черноморской воды); 3 – река; 4 – принудительный водовод для неё; 5 – подпорная плотина; 6 – слой опреснённой воды из глубин; 7 – смешивание пресной и морской вод.

Во время штормов сероводород поднимается на поверхность и отдыхающие туристы, местные жители ощущают характерный запах тухлых яиц (потом происходит адаптация и он, по ощущениям, как бы исчезает). В Чёрном море за последние десятилетия произошло интенсивное вымирание видов животных. Сегодня ещё мало кто задумывается над тем, что все морские сувениры (раковины, моллюски, морские звёзды, кораллы и пр.), которыми торгуют на чёрноморских рынках, не имеют к Чёрному морю никакого отношения. Их привозят из других морей. А

в нашем море исчезают даже мидии. А такие виды как осетровые, ставрида, скумбрия, пелагида исчезли ещё в 1990-х годах как промысловые виды. Однако, наибольшую опасность сейчас представляет возможность взрыва сероводорода Чёрного моря, что очень может напоминать хотя и локальный, но всё же почти библейский Конец Света (как локальный потоп в прошлом).

### **3. Хранение водорода в различных агрегатных состояниях и путём производства спиртов**

Можно назвать четыре способа хранения произведенного водорода, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Первым и самым простым являются баллоны высокого давления. Однако это связано с большой массой и опасностью от высокого давления (сотни атм). Правда, успешно развиваются перспективные армированные пластиковые баллоны высокого давления. Здесь также, как уже отмечалось, имеется опасность, происходящая от возможных пожаров и взрывов.

Значительно более безопасным и компактным является жидкий водород, однако для этого требуются теплоизолированные резервуары (сосуды Дьюара) и дополнительные энергозатраты на охлаждение. Хранение в таком виде также связано с расходом водорода, поскольку нельзя перекрывать полностью его выход в атмосферу вследствие испарения. Правда, из качественно сосуда Дьюара водород уходит достаточно медленно.

Третий способ связан с большой растворимостью водорода в металлах. Такой аккумулятор называют гидридным. Он является наиболее безопасным, однако имеет недостатки медленного заполнения и усложнённого отбора газа из этого резервуара (требуется его разогрев).

Перечисленные способы постоянно совершенствуются и используются там, где каждый из них является наиболее приемлемым. И, наконец, водород как топливо удобно «хранить» в сочетании с углеродом и кислородом в виде спиртов. Наиболее лёгкие из них – метанол ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) и этанол ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), которые ещё имеют названия древесного и питьевого спиртов. Они вполне могут служить в качестве самостоятельных высококачественных

топлив для двигателей внутреннего сгорания и ракет (вспомним немецкую ракету «Фау-2», а также советскую Р-1). Их преимуществом является то, что в обычных условиях это – жидкости, т.е. они представляют собой высококипящие топлива, содержащие, к тому же, кислород. При этом водород в них составляет 1/8 часть массы (в этаноле – немного больше). Особенностью спиртов является их прекрасная растворимость в воде, что для жидкого топлива в земных условиях является недостатком.

Метанол легко получить, используя водород, древесный уголь и атмосферный кислород, однако этанол более безопасен (значительно менее ядовит), имеет большую плотность, а также создаёт лучшую наполняемость цилиндров двигателя. Оба топлива имеют высокие октановые числа. Поэтому, их добавки в бензины позволяют форсировать обороты двигателя. Однако, спирт при этом должен быть очень чистым, иначе вода будет вызывать интенсивную коррозию, а также возникнут проблемы с пуском двигателя, особенно холодного.

Можно отметить, что водород в обычных двигателях используют и непосредственно как небольшую добавку (несколько процентов), которая значительно улучшает характеристики бензинового топлива и даёт существенную экономию (до 30 %). Одновременно это улучшает и экологию, которая сегодня очень страдает от экспансии автомобилей с двигателями внутреннего сгорания.

Спирты можно изготавливать даже в домашних условиях из древесины, а водород, помимо электролиза, - брать из легкодоступной серной кислоты (см дальше лабораторный метод). Однако, этот путь достаточно сложен и дорог, поскольку требует длительного нагревания и контроля реакции. Обычно этиловый спирт изготавливается из пищевых продуктов их сбраживанием (биоэтанол) с последующей многократной перегонкой. На спиртовых заводах для этого применяются специальные ректификационные колонны, где биоэтанол постепенно высушивается и очищается от примесей до 96% его чистоты (остальное – вода). В завершение можно отметить, что водород как наиболее качественный топливный компонент хранится и в газовых смесях, таких как водяной газ, метан, этан, пропан, бутан.

## **Раздел 3. Другие способы производства водорода. Очистка водорода**

### **1. Получение водорода из углеводородов пиролизом. Водяной газ**

Наиболее дешёвый способ получить водород в больших количествах – разложение углеводородов при относительно невысоких температурах. Например, природный газ, состоящий преимущественно из метана, в промышленности разлагают на углерод (используется для изготовления типографских красок) и водород как побочный продукт. Реакция облегчается, если добавить в смесь водяные пары (образуется так называемый водяной газ). При нагревании такой смеси до 800-900°C в присутствии катализатора происходит реакция, схема которой выглядит так:



Важным промышленным способом получения водорода является также его выделение из коксового газа или из сопутствующих газов переработки нефти.

Недостатком добычи водорода из углеводородов является то, что он имеет много примесей. Для его сжигания в двигателях внутреннего сгорания это не создаёт больших проблем, однако не для работы топливных элементов, где нужен очень чистый водород (чтобы избежать «отравления» дорогого катализатора – платины). Поэтому, для качественного выделения водорода из промышленных газов необходима очистка газовой смеси. Этого можно достичь глубоким вымораживанием примесей. Можно отметить, что электролизёры с отдельным выделением газов возле катода и анода таких проблем не создают, однако их водород стоит дороже.

### **2. Вытеснение водорода активными металлами из кислот и щёлочей (лабораторный способ)**

Достаточно чистый водород можно получить, если в соляную кислоту бросить кусочек более активного, чем водород (см.

табл.9), металла, например, цинка. Он вытесняет водород, образуя соль. Такую реакцию обычно проводят в аппаратах Киппа (рис.35). Активный металл может вытеснить водород и из воды, образовав гидроксид (наиболее активные – даже со значительным тепловыделением, что может вызвать взрыв). Однако, например, алюминий этого сначала не сможет сделать, поскольку будет препятствовать плотная плёнка окиси алюминия. Тем не менее, подержав его немного в KOH, плёнку можно снять, после чего он при попадании в воду начнёт в ней растворяться и вытеснять водород. Такой опыт легко провести с обычной алюминиевой ложкой. Менее активные, чем водород, металлы (медь, серебро, золото) такой способности не проявляют. Понятно, что полученный таким образом водород - очень дорогой. Однако, он после высушивания будет иметь высокую чистоту и без кислорода. Рассмотрим примеры.

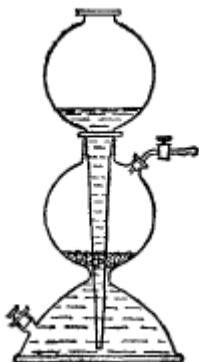
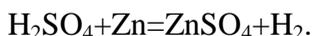


Рис.35. Аппарат Киппа для получения водорода вытеснением его из кислот активными металлами (чаще – цинк и соляная кислота). Для остановки реакции достаточно перекрыть выход водорода из центральной колбы, для продолжения – открыть кран [4].

Пример 1. Найти количество водорода, которое можно получить из серной кислоты с помощью 100 г цинка. Какое количество кислоты для этого потребуется? Молярная масса цинка 65,4 г/моль.

*Решение:* Имеем  $100/65,4=1,54$  молей цинка. Один атом цинка вытесняет два атома водорода в соответствии с реакцией образования соли:

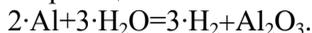


Тогда можем получить столько же молей водорода, или  $1,54 \cdot 2 = 3,1$  г водорода, или  $1,54 \cdot 22,4 = 34,5$  л водорода (при нормальных условиях). Молярная масса кислорода 16,0 г; серы 32,0

г. Отсюда получаем, что после завершения реакции будет использовано столько же молей кислоты, или  $(2+32+16\cdot4)\cdot1,54=151$  г.

**Пример 2.** Сколько водорода выделит из дистиллированной воды алюминиевая ложка массой 10 г при её полном растворении после снятия оксидной плёнки? Сколько воды при этом прореагирует?

*Решение:* Два атома алюминия вытесняют из воды три молекулы водорода, согласно реакции:



Молярная масса алюминия 27,0 г, поэтому ложка содержит 0,370 молей. Таким образом, поскольку 1 моль алюминия даёт 1,5 моля водорода (3 г), получим  $3\cdot0,37=1,11$  г  $\text{H}_2$ , или  $1,5\cdot22,4\cdot0,37=12,4$  л  $\text{H}_2$  (при нормальных условиях). Для реакции будет нужно  $1,5\cdot18\cdot0,37=10$  г воды.

Табл.9. Электрохимический ряд напряжений металлов (вольты) отображает степень их активности и способность отдавать электроны в сравнение с водородом. Плюсы - количество электронов, которые атом отдаёт [4]:

Металл	Потенциал (при 25°C)	Металл	Потенциал (при 25°C)
Li+	-3,045	Co++	-0,277
Rb+	-2,925	Ni++	-0,250
K+	-2,924	Sn++	-0,136
Cs+	-2,923	Pb++	-0,126
Ca++	-2,866	Fe+++	-0,037
Na+	-2,714	2H+	0
Mg++	-2,363	Bi+++	0,215
Al+++	-1,663	Cu++	0,337
Ti++	-1,63	Cu+	0,520
Mn++	-1,179	Hg <sub>2</sub> ++	0,789
Cr++	-0,913	Ag+	0,799
Zn++	-0,763	Hg++	0,850
Cr+++	-0,744	Pt++	1,188
Fe++	-0,440	Au+++	1,498
Cd++	-0,403	Au+	1,692

### 3. Очистка водорода

Как уже отмечалось, одним из основных промышленных методов выделения водорода из смеси газов является метод глубокого охлаждения. Поскольку при нормальном давлении он ожижается при 20,4 К, все другие газы вымерзнут раньше (кроме гелия). Однако, для достижения таких низких температур требуется довольно энергоёмкая и дорогая вакуумная низкотемпературная техника.

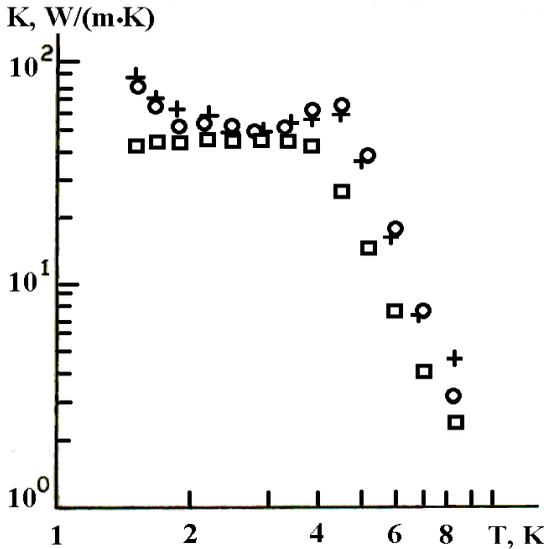


Рис.36. Наличие одной миллионной части примеси неона [11] уменьшает теплопроводность чистого твердого  $H_2$  вблизи температуры 3 К от 1000-2000 Вт/(м·К) до 50 Вт/(м·К), т.е. почти в 40 раз, независимо от способа выращивания образца (разные кривые: квадраты – медленное выращивание образца из расплава, кружки – быстрое выращивание из расплава, крестики – выращивание из газа сублимацией). Масштабы осей для температуры  $T$  и теплопроводности  $K$  – логарифмические.

Свойство некоторых металлов (никель, палладий, платина) очень хорошо поглощать водород, образуя гидриды, можно то-

же использовать для его высококачественной очистки. Этот же металл с хорошо развитой поверхностью можно потом использовать и как гидридный аккумулятор: он вернёт обратно водород при нагревании. Именно так иногда и делают, когда для улучшения сжигания бензинового топлива к нему добавляют несколько процентов водорода (регулирование нагрева проводят или выхлопными газами, или электронагревателем).

Чрезвычайно чистый водород в небольших количествах можно получить, если его пропустить через хорошо прогретую трубку из палладия, запаянную с одного конца. Её стенка выполняет при этом роль очень густой мембраны, которая не пропускает другие газы. Мембранный метод очищения водорода можно применить и не для таких плотных мембран – тогда выход продукта будет значительно большим.

Такие мембраны можно производить из тонких полимерных плёнок, у которых частицы высоких энергий из ядерного реактора, ускорителя или радиоактивного источника  $\alpha$ -частиц предварительно образуют каналы. Через них как раз и сможет продавливаться водород. Молекулам других веществ, кроме атомарного гелия, проникать сквозь такую мембрану будет значительно сложнее. Количество прохождений можно увеличить, если возрастёт площадь плёночных мембран. Как уже отмечалось, высокая чистота водорода нужна для работы топливных элементов.

Водород очень высокой чистоты также необходим для научных исследований, для выращивания высокочистого кремния и для некоторых других современных наукоёмких технологий. Так, например, теплопроводность твёрдого водорода и некоторые другие физические характеристики чрезвычайно чувствительны к наличию в нём примесей (рис.36).

## Раздел 4. Водород как источник воды. Живая вода

*«Если кто и открыл воду,  
то это были не рыбы»  
(А. и Б. Стругацкие)*

### 1. Тот, кто порождает воду. Свойства воды с различными изотопами водорода

Водород определяет свойства такого важнейшего для жизни на Земле вещества как вода.  $\text{H}_2\text{O}$  — прозрачная бесцветная жидкость с голубоватым оттенком без запаха и вкуса (дистиллированная вода, а также продавленная через очень густую мембрану (метод обратного осмоса)). Имеет при нормальном давлении 101325 Па плотность 1 г/см<sup>3</sup> (при 4 °С), температура плавления 0°С, кипения 99,98°С, молярная масса 18,01528 г/моль. В природе существует в трёх агрегатных состояниях — твёрдом (лёд), жидком (вода) и газообразном (водяной пар). Атомы водорода размещены в молекуле так (рис.37), что направления на них из центра атома кислорода образуют угол 104,45°. Такое расположение обуславливает полярность молекулы воды (имеется значительный дипольный момент 1,844 Д, где 1 Д=3,3356·10<sup>-30</sup> Кл·м — внесистемная единица, названная в честь выдающегося физика Петера Дебая). При замене хотя бы одного из атомов водорода — протия на дейтерий образуется модификация молекулы, которая называется тяжёлой водой.

В отличие от других планет Солнечной системы, вода принадлежит к довольно распространённому на земном шаре веществу (но не в пустынях), поскольку покрывает примерно 2/3 её поверхности (океаны, моря, озёра, реки и болота). Значительные её количества в виде льда и снега покрывают высокие горы и огромные просторы Арктики и Антарктики. Достаточно много воды содержится в атмосфере — пар, туманы и облака. Значительные её количества находятся в земной коре в виде подземных рек и озёр. В природе вода пребывает не столько в свободном состоянии, сколько в химически связанном. Вода входит в

состав многих горных пород и всех растительных и животных организмов. На воду приходится примерно 60% массы животных и до 80% массы рыб. В некоторых растениях содержание воды иногда превышает 90% от их массы. Большинство запасов воды на Земле находятся в морях и океанах (так называемая пресная вода составляет 2,5-3% от общего объёма гидросферы).

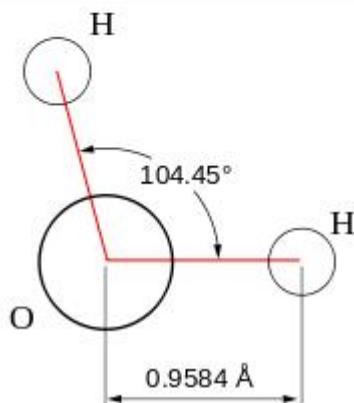
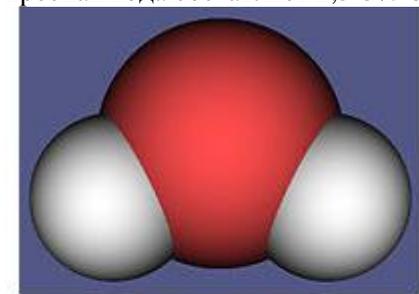


Рис.37. Молекула воды и её геометрические характеристики. В твёрдом состоянии молекулы  $H_2O$  образуют гексагональную кристаллическую структуру.

При нормальном атмосферном давлении и  $0^{\circ}C$  вода замерзает и превращается в лёд, а при  $100^{\circ}C$  — кипит, образуя капельки тумана и пар. В газообразном состоянии она существует и над своей твёрдой поверхностью (ниже  $0^{\circ}C$ ). Поэтому лёд и снег тоже постепенно испаряются. В жидком состоянии вода почти не сжимается, а при замерзании расширяется на 1/11 от своего объёма. Это — аномальное свойство, не характерное для большинства веществ. Наибольшую плотность чистая вода имеет при  $+4^{\circ}C$  (точнее — при  $3,98^{\circ}C$  нормального давления). Массу  $1\text{ см}^3$  чистой воды при этой температуре приняли за единицу и

назвали граммом (современное определение грамма и, соответственно, килограмма основано на более точном эталоне). Поэтому, лёд легче воды (на 8%) и не тонет в ней. Благодаря такому ценному свойству, а также малой теплопроводности, слой льда защищает глубокие водоёмы от промерзания до дна и этим обеспечивается жизнь в них в течение холодной зимы.

Тройная точка воды, т.е. условия, при которых одновременно в тепловом равновесии могут существовать вода, лёд и пар, достигается при температуре  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$  и давлении пара  $611,73\text{ Па}$ . Значение  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$  точное — на нём основано определение единицы измерения температуры в Международной системе единиц (СИ), т.е. Кельвина.

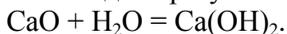
Вода имеет очень большую удельную теплоёмкость, которая по определению равна одной малой калории ( $1\text{ кал}/(\text{г}\cdot^{\circ}\text{C})=4,188\text{ Дж}/(\text{г}\cdot\text{K})$ ). Благодаря этому, температура океанов и морей меняется плавно, что стабилизирует условия существования живых организмов на поверхности земного шара. Этим также объясняется и то, что климат на островах более мягкий, чем на материках. Все эти физические свойства воды обусловлены значительным дипольным моментом (он в два раза больше, чем, например, у молекулы сероводорода). Благодаря ему, молекулы воды весьма интенсивно взаимодействуют между собой, образуя агрегаты из водородных связей. Это также приводит к конденсации при довольно высоких температурах. Так, например, более тяжёлые, но не полярные молекулы кислорода и углекислого газа при таких же температурах конденсированной фазы не образуют, т.е. не ожижаются. Атомы водорода образуют водородные связи между разными молекулами воды, обуславливая в конденсированном состоянии образование сложных взаимосвязанных структур. Именно поэтому снежинки бывают такими разными.

Чистая вода — хорошо прозрачное вещество с показателем преломления в видимом диапазоне  $1,33$ . Она очень поглощает электромагнитные волны в инфракрасной и ультрафиолетовой областях спектра, а также радиоволны. Прозрачность воды зависит от толщины слоя, через который проходит свет, а также от цветности и мутности, т.е. от содержания в ней разных фракций зависших минеральных и органических веществ. Мерой про-

зрачности воды считают глубину, на которой можно наблюдать стандартный белый диск определённого размера. По состоянию прозрачности воду подразделяют на пять категорий (прозрачная; слабо прозрачная; слабо мутная; мутная; очень мутная).

Поскольку молекулы воды электрически очень сильно полярны (при отсутствии магнитного момента, т.е. вода – диамагнетик), они могут притягиваться своими противоположными полюсами и образовывать сложные агрегаты  $(\text{H}_2\text{O})_n$ , где  $n=1,2,\dots$ . Количество и степень сложности таких агрегатов уменьшаются с ростом температуры, поскольку хаотические тепловые движения их разрушают. Структурированная вода для живых организмов значительно полезнее, чем не структурированная. Сразу после таяния льда таких структур больше всего.

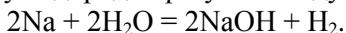
В химическом отношении вода довольно активна. Со многими веществами она вступает в химические реакции уже при комнатных температурах. При этом с оксидами щелочных и щелочноземельных металлов вода образует основания:



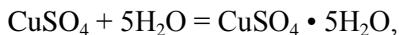
Со многими оксидами неметаллов (ангидридами) вода образует кислородные кислоты:



С наиболее активными металлами она образует щёлочи с выделением водорода и большого количества тепла (часто со взрывом, поскольку водород образует с воздухом смесь):



С некоторыми солями вода образует так называемые кристаллогидраты, которые характеризуются строго определённым количеством молекул воды, приходящихся на одну молекулу соли. Например, с сульфатом меди вода образует медный купорос:

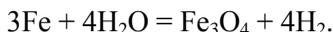


в котором на одну молекулу сульфата меди приходится пять молекул воды. Воду, которая входит в состав кристаллов, называют *кристаллизационной*.

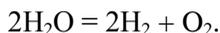
Кристаллизационную воду следует отличать от *гигроскопической воды*, которая поглощается (адсорбируется) поверхностью и порами всех веществ на открытом воздухе. Некоторые вещества отличаются повышенной способностью поглощать

влагу из воздуха. Вследствие этого они увлажняются (например, NaCl), а иногда даже и расплываются на воздухе (CaCl<sub>2</sub>). Такие вещества называют гигроскопическими. В отличие от кристаллизационной, количество гигроскопической воды в веществах меняется и зависит от условий. При этом она химически не взаимодействует с веществом-адсорбентом.

При высоких температурах водяные пары взаимодействуют с железом:



Эту реакцию также можно применять для добычи водорода. В термическом отношении вода довольно устойчива. Однако при температурах выше, чем 1000°C, она начинает разлагаться на водород и кислород (это ещё один, хотя и довольно опасный, способ добычи гремучей смеси, например, в солнечных параболических коллекторах):



Такая реакция происходит лучше в присутствии катализаторов.

## **2. Роль воды для жизни на Земле. Живая вода**

Вода — одно из главнейших веществ, необходимых для органической жизни. На Земле водой покрыто 71% от всей поверхности, причём вследствие глобального потепления существует устойчивая тенденция к росту этой части. В природе происходит постоянный кругооборот воды. Испаряясь в атмосферу и конденсируясь в облака, она снова возвращается дождями в реки и океаны. Вода имеет большое значение для живой природы и, в частности, для людей (в первую очередь — для сельского хозяйства и промышленности). При этом питьевая вода составляет лишь 2,5% от её общего потребления. Нехватка питьевой воды в ближайшие десятилетия станет одной из ключевых проблем, что может вызвать даже военные противостояния, похожие на конфликты из-за нефти.

Влажность воздуха и количество атмосферных осадков - важнейшие факторы, регулирующие климат. Вода является также одним из важных геологических факторов, которые изменяют внешний вид земной поверхности, размывая горы и образуя

долины и пески. Она разрушает горные породы не только механически, но и в химических реакциях, реагируя с ними и образуя новые вещества. Вследствие эрозии в течение многих миллионов лет старые горы (например, Урал) выглядят совершенно иначе, чем растущие молодые (Гималаи).

В природе водород, который входит в состав молекулы воды, играет чрезвычайно важную роль. В значительной мере именно благодаря водородным связям вода имеет огромное значение для поддержания жизни людей, животных и растений. Она нужна растениям для растворения питательных веществ в грунте и для фотосинтеза. Её нехватка в грунтах приводит к ухудшению питания растений, снижения урожайности и даже гибели сельскохозяйственных культур. Процессы усвоения пищи происходят в водной среде. В старые времена алхимики утверждали: «Не жидкое не реагирует». Чрезмерный расход воды организмом (до 10 — 20%) может привести к гибели живого существа, хотя существуют и исключения, но они касаются скорее примитивных форм. Правда, бушмены, живущие в пустынях Калахари и Намиб, учат нас тому, как следует бережно относиться к воде и окружающей среде даже на наиболее безводных территориях, обеспечивая себе выживание. Средняя ежедневная потребность взрослого человека в воде составляет 2,5—4 дм<sup>3</sup> (бушмены вряд ли потребляют столько). Вода является одним из шести основных пищевых элементов здорового питания человека наряду с углеводами, белками, жирами, витаминами и минералами.

Вода может быть вредной и создавать серьёзную опасность. Это происходит вследствие подтоплений, разрушения берегов и защитных дамб и других сооружений мощными волнами, засоления земель, вытекания воды из водопроводных и канализационных систем, перекрытия потоков подземных вод, осушения земель, их загрязнения в районах добычи полезных ископаемых, образования оврагов, оползней и селей.

Вода имеет много технических применений. Потенциальная энергия воды издавна широко использовалась на водяных мельницах, а позднее - на гидроэлектростанциях для получения дешёвой электроэнергии. Воду потребляют строительная, текстильная, кожевенная, металлургическая промышленности и другие отрасли. Особенно широко используют воду в химической

промышленности для процессов растворения, фильтрования, промывки и как сырьё для получения разных химических продуктов: едких щёлочей, кислот, водорода и прочего.

Вода открытых водоёмов должна отвечать определённым санитарным нормам. Но сегодня природная вода уже почти везде, где компактно проживают люди, не является полностью чистой. Она содержит в себе вредные растворённые вещества, а иногда - и нерастворимые примеси. Наиболее чистой можно считать дождевую и талую воду. Но и она содержит примерно 0,003% растворённых минеральных веществ, которые переходят из воздуха (в виде пыли, забираемой дождями).

Выпадая на землю, дождевая и снеговая вода частично стекает в реки, а частично просачивается в грунт, образуя подземные воды. При этом они могут растворять различные вещества. Речные воды содержат около 0,05% растворённых веществ, а подземные (из источников, колодезная) — до 0,1% и больше. Природные воды, которые содержат до 0,1% растворённых солей, считают пресными. Когда растворённых веществ больше 0,1%, воду называют солёной. Значительно более солёными являются океанские воды. В них содержится до 3—4% растворённых веществ. Наиболее солёной оказывается вода некоторых закрытых озёр с интенсивным испарением (Мёртве море, озеро Сиваш). Наличие в морской воде очень большого количества растворённых солей делает её непригодной ни для питья, ни для хозяйственно-бытовых или промышленных целей. Поскольку природная вода не бывает вполне чистой, то в большинстве случаев для непосредственного потребления она непригодна. Поэтому её предварительно очищают как от механических примесей, так и от некоторых растворённых солей, а иногда - и от всех посторонних веществ. Характер очищения зависит от того, с какой целью собираются эту воду употреблять.

Особенно высокие требования выдвигаются к очистке питьевой воды. Она должна быть вполне прозрачной, бесцветной, без запаха и вкуса, без органических остатков и вредных бактерий, но с умеренным количеством растворённых солей (дистиллированную воду в значительных количествах пить нельзя). Удовлетворительной для питья считается вода, которая содержит на 1  $\text{дм}^3$  до 0,3 г (или 0,03%) растворённых солей. Вода, в которой

очень мало или очень много растворённых солей, является вредной.

Лучшей питьевой водой считается родниковая и артезианская. Речную воду также употребляют для питья после её очистки (для населения Украины река Днепр – главный источник воды, поскольку вместе с Крымским каналом и каналом Днепр-Донбасс она обеспечивает почти  $\frac{3}{4}$  потребности). Вода с примесями органических веществ, в которых могут развиваться микроорганизмы, считается полностью непригодной не только для питья, но и для целого ряда других целей. Такая вода непригодна, например, для пищевой промышленности, для сахарного, крахмального и бумажного производств (поскольку в ней происходят гниение бумаги, брожение крахмала и сахара). Кроме того, они придают крахмалу и сахару неприятный жёлтый цвет. Природную воду обычно очищают на водоочистных станциях. Сначала её отстаивают в специальных отстойниках, где осаживается песок, глина и основная масса других нерастворимых веществ, а потом фильтруют сквозь слой гравия, кокса и песка, чтобы отделить то, что трудно осаживается. При этом вместе с мутью офилтровываются остатки органических веществ и большая часть бактерий. Для полного обеззараживания воду хлорируют, добавляя в неё небольшие количества хлора (обычно в виде хлорной извести из расчёта 0,7 г хлора на 1 т воды). Но развитые страны отказываются от хлорирования воды, поскольку наличие в ней нитратов в сочетании с хлором после реакции даёт страшные яды – диоксины. Вместо хлорирования всё большее распространение получает озонирование воды.

Для полного очищения от всех посторонних веществ воду подвергают перегонке или дистилляции. Очищенную таким образом воду называют дистиллированной. Эта вода лишена не только механических примесей, но и растворённых солей. Её используют в химических лабораториях и в аптеках для изготовления лекарств. Дистиллированную воду, а также продавленную сквозь мембраны (метод обратного осмоса, причём пресную продавливают давлением до 20 атм, а морскую для опреснения и очистки - до 100 атм) постоянно пить нельзя. В промышленности такую воду используют для аккумуляторов, в химической промышленности, а также в паровых котлах высокого

давления. Опреснители морской воды очень важны для пустынных областей, находящихся близко от моря (Сахара, Намиб). После них воду уже можно употреблять, однако солёный привкус в ней всё ещё может оставаться.

Электролизную воду, отобранную вблизи катода (щёлочная или «живая» вода), называют *католитом*. Католит в первые минуты после электроактивации содержит осадок и пену на поверхности. Напоминает дождевую воду с лёгким привкусом пищевой соды (величина  $pH = 10,5-11$ ; окислительно-восстановительный потенциал =  $-0,8$  В). Такая вода перенасыщена отрицательными ионами. В свежеприготовленном католите поверхностное натяжение составляет примерно  $62$  мН/м, но в течение часа оно быстро возрастает до величины, характерной для водопроводной воды, т.е.  $72$  мН/м. Поэтому сначала католит имеет моющие или эмульгирующие свойства. Живая вода интенсифицирует обмен веществ в живых тканях, ускоряя рост растений, заживляя раны, улучшая самочувствие, снижая чувствительность к действию неблагоприятных факторов, т.е. улучшая общее состояние здоровья.

Католит улучшает работу и тонус сосудов артериальной системы, регулирует их внутренний просвет. Поскольку он является донором электронов (антиокислителем), то католит относят к антиоксидантам. Механизм действия на живые системы похож на влияние иммуностимуляторов (витамины Е, С, Р, РР и других).

«Живая» вода оказывает радиопротекторное действие, является мощным биостимулятором, а также проявляет высокие экстрагирующие и растворительные свойства. Например, на католите, подогретом до  $40-45^{\circ}C$ , прополис растворяется в течение суток. Католит имеет также отхаркивательные свойства и стимулирует процессы регенерации тканей, нормализует метаболический обмен, облегчает процессы кровообращения в тканях.

Вода с окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП), меньшим  $-0,2$  В, является малоэффективной, а при ОВП, большим  $-0,8$  В, оказывает угнетающее действие. Приём католита внутрь в оптимальных дозах (с консультированием у врача) с терапевтическим уровнем ОВП примерно  $-0,4$  В усиливает процессы регенерации клеток, стимулирует тканевое дыхание и синтез ДНК, оказывает иммунокорректирующее действие, усилива-

ет выведение токсинов печенью, стабилизирует проницаемость клеточных мембран, нормализует их энергетический потенциал. Католит является носителем полезных для организма компонентов (активированных молекул и микроэлементов), недостаток которых особенно ощущается во время болезни. Эта вода быстро заживляет раны, стимулирует обмен веществ в организме, повышает давление у гипотоников, улучшает аппетит и переваривание еды. Её употребление способствует регенерации слизистой оболочки толстой кишки с полноценным восстановлением функций кишечника. Происходит также нейтрализация окисленных продуктов, что помогает восстановлению больных клеток.

Как радиопротектор католит эффективен для лечения лучевой болезни, поскольку он улучшает обмен веществ в организме и способствует более интенсивному выведению шлаков (радионуклиды - в их числе). Поскольку щелочная вода является иммуностимулятором, при её употреблении повышается стойкость к действию альфа-, бета- и других ионизирующих излучений.

Таким образом, употребление католита приводит к активации защитных сил организма, снижению чувствительности к инфекционным заболеваниям. Также установлено, что «живая вода» позитивно влияет на репродуктивные функции животных и благоприятно действует на развитие растений. Она стимулирует перенос кислорода и электронов в составе отрицательных ионов из внешней среды в клетки, а это нормализует обмен веществ. Это также способствует восстановлению электрического потенциала клеточных мембран и повышению кислородной насыщенности эритроцитами плазмы крови. Применение католита демонстрирует улучшения при хронических тонзиллитах, бронхитах, гепатитах, гастритах, нефритах, простатитах, вагинитах, астме. Его дозированное использование вполне безвредно для живых организмов и приносит большую пользу.

Обычно католит хранят в тёмном месте в закрытой стеклянной посуде в течение суток. Однако, максимальный оздоровительный эффект такая вода имеет только в первые три часа после приготовления, после чего он постепенно ослабевает.

### **3. Водород для колонизации планет или нужно ли везти с собой воду и топливо**

Перед путешественниками, отплывавшими в далёкие плаванья (Васко да Гамма, Христофор Колумб, Магеллан) не возникла необходимость брать с собой в дорогу почти все: воду, воздух, еду и даже силу тяжести, а также средства защиты от вредных излучений и опасных астероидов. Поэтому, на первый взгляд, полёт в космос к ближайшим планетам на современных таких же ненадёжных средствах, как тогда были парусники и примитивные средства навигации, представляется безрассудством.

Но ситуация для первого шага человека в эту бездну не такая безнадежная. Венера имеет силу тяжести и размеры почти такие же, как и Земля, хотя условия на её поверхности далеки от идеальных (пока – сущий ад). Однако, на высотах в десятки километров атмосферное давление и температуры близки земным. Атмосфера планеты в десятки раз более мощная и состоит преимущественно из углекислого газа, а слой облаков – из серной кислоты. Поэтому, живя на больших аэростатах (гелиевых или даже водородных, поскольку водород не будет гореть в атмосфере Венеры вследствие отсутствия кислорода), и имея земную гравитацию, люди вполне могли бы обходиться водой из водорода и воздухом, произведенным из венерианского материала с использованием электроэнергии от солнечных батарей. Последней с избытком хватит для оранжерей и ферм, которые смогут производить достаточное количество продуктов питания и строительные материалы. Поэтому воздух, вода и всё остальное для основания первых атмосферных колоний на Венере нужны лишь для перелёта и на первый раз (возможно, что и без возвращения в первые несколько лет). Интересно, что подъёмная сила на Венере больше земной, поскольку молярная масса  $\text{CO}_2$  составляет 44 г/моль, а земной воздух - в полтора раза меньше (29 г/моль). Водород вместо гелия также обеспечит дополнительную подъёмную силу.

## Раздел 5. Перспективы термоядерной энергетики

«Известное известно немногим»  
(Аристотель)

### 1. Звезда - синтезатор новых веществ, производных от водорода. Сверхновые звёзды

Согласно оценочным расчётам, в центре Солнца каждую секунду 4 млн. тонн водорода превращаются в гелий, высвобождая огромную энергию, по излучениям которой и определяется эта масса. При этом поток энергии из недр Солнца рассматривается в среднем как стационарный. Тогда, в соответствии с законом сохранения энергии и модели одинаковых количеств её распространения в разных направлениях (изотропная модель) можно измерить поток света вблизи Земли через  $1 \text{ м}^2$ , а затем умножить на площадь круга с радиусом, равным земной орбите.

Энергию синтеза в отдельном акте образования ядра гелия тоже можно оценить из дефекта масс водорода и гелия. Однако, не всё так просто. Существуют различные изотопы, происходит синтез ядер более тяжёлых, чем гелий. Динамика атмосферы Солнца тоже не такая предсказуемая: на его поверхности образуются разнообразные структуры, например, пятна, протуберанцы и факелы, которые и сегодня изучаются. Возникают мощные вспышки, которые сопровождаются гигантскими выбросами энергии. В пространство вокруг Солнца её потоки попадают, вообще говоря, не изотропно. Поэтому, расчёты и оценки энерговыделений и превращений масс вещества в звёздах, основанные, в первую очередь, на наблюдениях Солнца и других наиболее близких звёзд нашей Галактики, и сегодня продолжают уточняться.

Человечеству, чтобы развиваться дальше, нужны научные представления об окружающем мире (или того, который был, когда далёкие звёзды излучали свет). Картина грандиозных событий, которую даёт современная астрофизика, довольно убедительна и стройна. Правда, в ней постоянно возникают всё но-

вые понятия: чёрные дыры, гравитационные линзы, квазары, пульсары, тёмная материя, тёмная энергия и т.п.

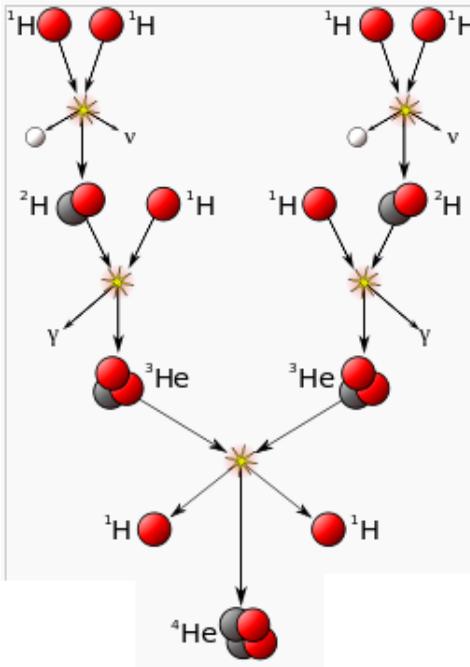


Рис. 38. Протон-протонная цепочка – основной источник энергии Солнца (жёлтый карлик) и меньших звёзд. Большие звёзды способны синтезировать и значительно более тяжёлые элементы, существуя намного меньше времени и имея более высокую температуру. Их оптический спектр смещён в коротковолновую часть спектра, причём, иногда они взрываются (сверхновые), если такие реакции становятся цепными.

Оценки важных характеристик и понятий, которые раньше считались надёжно установленными, могут претерпевать существенный пересмотр (иногда даже с точностью наоборот). Согласно представлений современной научной картины мира, все химические элементы тяжелее водорода когда-то были наработаны в протозвёздах, которые впоследствии взрывались, разбрасывая их во внешнее пространство. Впоследствии эти элементы под влиянием гравитации опять собирались в новые звёзды, планеты, туманности и другие образования. Таким образом, всё, что нас окружает и мы сами (кроме водорода, реликтовых излучений и тёмной материи), когда-то было в звёздах и рождалось из водорода. Он, в свою очередь, возник из более ранних форм материи (кварки, фотоны, лептоны) после её осты-

вания вследствие адиабатного расширения, когда произошёл так называемый Большой взрыв (примерно 15 млрд. лет назад). Речь идёт, конечно, только о видимом людьми локальном участке Вселенной, размер которого соответствует указанному времени (в световых годах). Именно на таком радиусе учёные сегодня наблюдают и исследуют наиболее удалённые объекты Вселенной – квазары. А дальше – неизвестность.

Звёзды галактик, «наработавшие» много элементов тяжелее гелия и масса которых позволяет синтезировать эти элементы в ещё более массивные, могут взрываться и сегодня, если в них возникают цепные реакции синтеза. Их называют *сверхновыми*. Такое грандиозное явление можно видеть в мощные телескопы не только в нашей Галактике, но и в соседних весьма удалённых, поскольку возросшая светимость звезды становится сравнима с целой галактикой. Можно отметить, что такие взрывы в нашей Галактике могут представлять вполне реальную угрозу для жизни в ближайших звёздных системах, если она там существует (например, вблизи относительно спокойного Солнца).

Протон-протонная цепочка реакций синтеза (рис.38) является основным источником энергии Солнца и меньших звёзд. Условия для термоядерного синтеза возникают в глубинах звёзд, в частности, в центре Солнца. Именно в этих реакциях синтеза вырабатывается энергия, которая затем излучается звездой, проходя все её оболочки наружу. Первым звеном звёздного нуклеосинтеза является реакция образования  $\alpha$ -частицы из четырёх протонов. Эта реакция обеспечивает энергией все звёзды в течении примерно 90% их времени существования. Следующим звеном оказывается тройная  $\alpha$ -реакция (образование ядра углерода из трёх ядер гелия). Она может происходить лишь в звёздах, масса которых превышает  $0,5 \cdot M_{\text{Солнца}}$ . Ядро углерода может реагировать с протонами и  $\alpha$ -частицами, благодаря чему образуются разнообразные лёгкие ядра вплоть до железа. Это и сейчас происходит в нашей звезде, о чём свидетельствуют данные спектрального анализа. Образование ещё более тяжёлых ядер происходит в массивных красных гигантах, благодаря так называемым s-процессам.

## 2. Искусственное производство энергии синтезом лёгких ядер: термоядерное оружие - первый шаг

Искусственным производством термоядерной энергии синтезом лёгких ядер в более тяжёлые, как и цепными реакциями распада тяжёлых ядер (урановые и плутониевые бомбы, ядерные реакторы для производства электроэнергии, двигатели подводных лодок и надводных кораблей) человечество овладело ещё в середине XX века. Однако, устойчивая управляемая термоядерная реакция до сих пор ещё не реализована. Об этой проблеме мы поговорим позже. А сейчас речь пойдёт о водородной бомбе (термоядерное оружие).

В термоядерных реакциях синтеза выделяется огромное количество энергии. Как известно, масса ядра всегда меньше суммы ядер его отдельных частей – протонов и нейтронов (нуклонов). Этот *дефект массы* на один нуклон, умноженный на квадрат скорости света, т.е. энергия связи, сначала растёт при увеличении порядкового номера химического элемента вплоть до железа, а затем начинает уменьшаться для более тяжёлых ядер. Поэтому, ядерная энергия и выделяется при распаде тяжёлых ядер, что и даёт возможность создания ядерного оружия, а особенно – при синтезе очень легких (термоядерное оружие).

Имея те же самые поражающие факторы, что и ядерное оружие, термоядерное имеет большую мощность. Теоретически она ограничивается лишь количеством необходимых для реакции компонентов. В первых водородных бомбах в качестве вещества для термоядерного синтеза использовали смесь тяжёлых изотопов водорода — дейтерий и тритий, откуда и название *водородная бомба*. В более мощных и компактных устройствах следующего поколения термоядерным горючим стал твёрдый дейтерид лития (гидрид лития), что позволило упростить конструкцию устройства, повысить надёжность срабатывания и сделать его более транспортабельным (первые водородные бомбы можно было доставлять лишь кораблями, а литий-дейтериевые – уже и с помощью самолётов - стратегических бомбардировщиков).

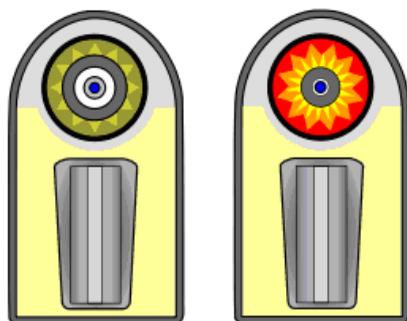


Рис.39. Развитие термоядерной реакции внутри водородной бомбы: А (слева): Термоядерная боеголовка перед взрывом. Верхняя часть (плутониевый шар) – ядерный запал; нижняя – материал из лёгких ядер для синтеза – дейтерид лития-6. Обе части находятся в оболочке из урана-238. В (справа): Обычная взрывчатка сжимает плутониевый шар (процесс имплозии) и переводит её в сверхкритическое состояние. Начинается цепная реакция распада тяжёлых ядер [2].

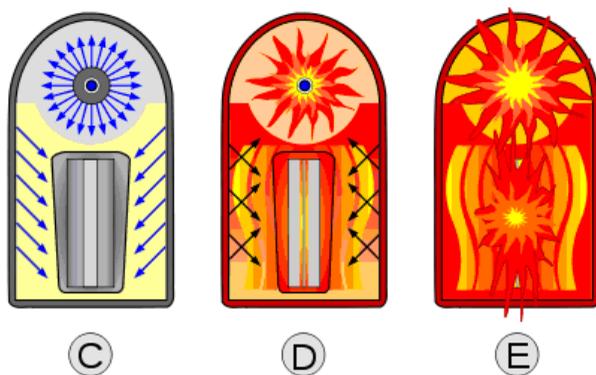


Рис.40. Развитие термоядерного взрыва: (С). Мощный импульс рентгеновского излучения. (D). Дейтерид лития вместе с дополнительным плутониевым стержнем испаряется и сжимается, плутоний переходит в сверхкритическое состояние, создавая дополнительный ядерный взрыв. (E). Синтез новых ядер сопровождается выделением большого количества быстрых нейтронов, которые в оболочке из урана-238 инициируют реакции расщепления (тампер).

Начиная со второй половины 40-х годов в США возрастающими темпами начали развиваться работы по изучению других возможностей производства ядерного оружия - не только на основе процессов деления, но также и путём ядерного синтеза. Через 6 лет после событий в Хиросиме и Нагасаки появилась водородная бомба, взрыв которой и стал результатом реакции синтеза тяжёлых изотопов водорода (дейтерий и тритий) в ядро гелия ( $\alpha$ -частица). Мощность взрывов водородных бомб в тысячи раз превысила мощность бомб, сброшенных на японские города. При взрыве водородной бомбы, кроме ударной волны и многих видов излучений, как и в атомной бомбе, образуется мощный поток быстрых нейтронов. Они оказываются способными вызывать реакцию деления ядер урана-238, который преобладает в природном уране и при обычных условиях не делится, как это имеет место для сверхкритической массы урана-235.

Для начала термоядерной реакции синтеза лёгких ядер необходимо изотопы водорода нагреть до температур в десятки миллионов градусов. Такая высокая температура возникает при взрыве уранового или плутониевого заряда и ядерная бомба, таким образом, выполняет роль детонатора. Согласно расчётам Ф. Каплана, мощность взрыва термоядерной бомбы распределяется так: 50 % энергии сосредоточено в ударной волне, 35 % — в световых излучениях, 5 % — в проникающей радиации и 10 % приходится на долю остаточной радиации (радиоактивное заражение местности осколками тяжёлых ядер).

Основа современного термоядерного оружия – процесс синтеза ядер гелия из тяжёлых изотопов водорода и лития. В первых термоядерных бомбах горючим были тяжёлые изотопы водорода – дейтерий и тритий. Эта реакция и сегодня считается наиболее перспективной для начала мирного производства термоядерной энергии. Однако, известно и много других реакций синтеза. При выборе той или иной из них обычно учитывают температуру, при которой происходит реакция, длительность реакции и её энергетический выход, агрегатное состояние заряда перед реакцией и многое другое. Можно отметить, что в качестве оружия лёгкий изотоп водорода не очень подходит, поскольку с ним чрезвычайно тяжело организовать синтез и сама реакция не имеет взрывного характера (для образования ядра

гелия-4, рис.38, нужно одновременно собрать в одном месте четыре протона вместо двух для случая тяжёлых изотопов).

С момента своего возникновения водородное оружие постоянно совершенствовалось. Одним из этапов на этом пути была замена жидких изотопов водорода твёрдым соединением дейтерия и лития — дейтеридом лития. Это сразу позволило уменьшить размеры водородной бомбы, поскольку дейтерид лития является лёгким и твердым веществом.

При образовании ядер гелия из дейтерия и трития рождаются очень быстрые нейтроны с энергией 14 МэВ. Для усиления силы взрыва водородную бомбу размещают в оболочке из сравнительно дешёвого урана-238. В природном уране он составляет основную часть — свыше 99 %. Поэтому говорят, что этот комбинированный заряд работает по схеме деление — синтез — деление. Такую бомбу называют трёхфазной или водородно-урановой. В ней, благодаря подрыву обычной взрывчатки, соединяются в критическую массу части урана-235, что и приводит к высокой температуре для начала синтеза (рис.39). Потом начинается термоядерная реакция в гидриде лития с выделением большого количества так называемых быстрых нейтронов. Эти нейтроны вызывают расщепление ядер природного урана-238, из которого изготовлена третья оболочка (рис.40).

Тройная схема отличается от простой термоядерной значительно большей (практически ничем не ограниченной) мощностью бомбы. В этом случае при взрыве до 90 % энергии может быть получено в результате расщепления урана-238. Так, например, Царь-бомба, испытанная в СССР (октябрь 1961 г.) на Новой Земле и сброшенная со стратегического бомбардировщика Ту-95, имела проектную мощность 100 Мт тротилового эквивалента. Правда, непосредственно перед испытаниями она была уменьшена в два раза. Но и это стало печальным рекордом.

При диаметре бомбы 1 м и толщине её урановой оболочки 5 см вес урана составлял примерно 3 т. Даже если при взрыве такого монстра прореагирует всего лишь 15 %, т.е. 500 кг урана-238, то тротильный эквивалент составит примерно 10 млн. т. Таким образом, применение урановой оболочки позволило создавать термоядерные заряды для реальных боевых ракет и авиабомб с тротильным эквивалентом 20 - 40 млн.т и выше. При ис-

пытаниях подобного типа термоядерных зарядов большое количество радиоактивных веществ заражает атмосферу и выпадает на землю далеко от района взрыва.

С целью увеличения радиоактивного заражения местности при термоядерных взрывах в отдельных случаях оболочку бомбы делают из веществ, которые под действием быстрых нейтронов превращаются в радиоактивные. К химическим элементам с такими свойствами принадлежат кобальт, цинк, стронций, цезий и некоторые другие. Речь идёт о так называемой *нейтронной* бомбе. В начале шестидесятых годов в прессе США начали появляться статьи, которые восхваляли новое ядерное оружие. 26 июня 1961 г. в газете «Washington post and Times gerald» Г. Саймонс писал: «Нейтронная бомба — это оружие, предназначенное для убийства человека. Нейтронную бомбу называют бомбой без деления или чистой термоядерной бомбой». Но в действительности нейтронная бомба не просто убивает людей. Она обрекает их на муки, постепенно приводя к смерти. Своим действием она ионизирует жидкости в живых организмах (примерно 85 % от всего тела), нарушает внутренние покровы пищевода, вызывает опухоли мозга и губительно действует на костный мозг. Предсмертная агония наступает не так быстро — иногда только через 48 часов, а иногда — через несколько месяцев.

Реакции деления в нейтронной бомбе дают начало синтезу, в результате которого освобождается значительное количество быстрых нейтронов. Вот почему ядерный заряд повышенного радиоактивного действия называют нейтронной бомбой. Мощный поток вторичных нейтронов затем взаимодействует с атомами, которые встречаются на его пути в воздухе, строениях, грунте, растениях и превращает их в радиоактивные. Таким образом, кроме осколочной радиоактивности, которая неизбежно будет иметь место при любом атомном взрыве, при взрыве нейтронной бомбы возникает также и так называемая наведенная (усиленная) радиоактивность.

Ядерное оружие может применяться как для непосредственного уничтожения войск и техники противника (тактическое оружие, 1–50 кт), так и для нанесения мощных ударов по его самым важным промышленным, транспортным и политическим центрам (стратегическое, до 50 Мт).

Табл.10. Сравнительная характеристика поражающих факторов атомного (I) и заряда повышенной радиации (II), т.е. «нейтронного», мощностью 1 кт ( высота взрыва – 200 м, [2]):

Объекты поражения	Площадь поражения ( км <sup>2</sup> )	
	I	II
Полное уничтожение живых организмов и разрушения в районе взрыва вследствие действия ударной волны и теплового излучения	0,5	0,1
Смерть не менее 50 % млекопитающих и птиц вследствие облучения ядерным взрывом	1,5	0,49
Мощные пожары сухой растительности	1,5	0,3
Уничтожение хвойных деревьев	0,5	3,1
Уничтожение лиственных пород	0,5	1,7
Уничтожение растительного покрова степных районов	0,5	1,4
Уничтожение экосистем тундры	0,5	0,4

Главными носителями ядерного оружия являются тактические и баллистические ракеты до космических включительно, хотя также используются и самолёты, надводные и подводные корабли как вспомогательные средства (всё вместе - так называемая ядерная триада). В зависимости от характера объекта нападения и задач, ядерный взрыв может быть проведен в воздухе, возле поверхности земли или воды, под землёй или под водой. Созданы и быстро прогрессируют снаряды-антиракеты для уничтожения баллистических ракет на больших высотах и в космосе.

На сегодня накопленные запасы ядерного оружия достигли ужасающих размеров: если за II Мировую войну все страны-участники истратили «лишь» 5 Мт обычных взрывчатых веществ, то накопленные сейчас на нашей планете запасы ядерного оружия в десятки тысяч раз превосходят это количество. Их уже вполне достаточно для многократного уничтожения всего живого на Земле. Поражающие факторы термоядерного оружия

делают его особенно разрушительным, опасным для человечества и природы видом, подобного которому ещё не знала история. Фактически оно перестало быть оружием, поскольку развязывание ядерной войны угрожает существованию цивилизации как таковой.

Ядерное оружие, которое фактически является лишь средством террора, должно стать **вне закона** на нашей планете и, в конце-концов, быть уничтожено. Ведь бросить в войне такую мощную бомбу означает бросить её на себя. Дух гуманности, которым пропитаны положения Конвенции 1948 года о запрете геноцида, и принципы Устава Международного военного трибунала, который *признал военным преступлением уничтожение гражданского населения*, в случае применения термоядерного оружия сразу будут нарушены. Правда, сверхмощные термоядерные заряды могут понадобиться человечеству и не для самоуничтожения, а для устранения таких катастрофических событий как падение на Землю кометы или астероида. Однако, в большинстве таких случаев их мощности не хватит.

К большому сожалению, ядерный меч продолжает висеть над человечеством и сегодня, а само оружие расползается, как зараза, всё большим числом стран. И только миролюбивая Украина, получив после распада СССР третий в мире по размерам ядерный потенциал, сознательно отказалась от такого отвратительного средства решения международных конфликтов. Сегодня часто раздаются голоса, что это было ошибкой. Но *человечество обязано* отказаться от силовых средств решения международных проблем, иначе при быстро растущих энергетических мощностях оно непременно погибнет либо вследствие военного конфликта, либо из-за экологической катастрофы. Это вовсе не относится к мирному и разумному использованию термоядерной энергии. О его состоянии на сегодня и возможных перспективах развития в будущем мы сейчас и поговорим.

### **3. Другие разновидности термоядерных реакций и перспективы термоядерной энергетики**

Наиболее универсальным видом энергии для трансформации термоядерной является электричество. Но, как мы знаем, его сложно запастись. Поэтому, эту водородную энергию придётся снова превращать в водород, причём запастись его можно в виде соединений (углеводороды, спирты, гидриды). С технической точки зрения большинство генерируемой электроэнергии является неявной формой термоядерной, поскольку Солнце - огромный природный термоядерный реактор. Считают, что практически все углеводородные месторождения на Земле – аккумулярированная биосферой солнечная энергия. Однако в более узком смысле, как и для случая термоядерного оружия, можно говорить о проблеме *искусственно поддерживаемой* реакции термоядерного синтеза. Но на сегодня ещё ни один управляемый термоядерный электрогенератор не создан, хотя интенсивные эксперименты давно идут. Наиболее перспективными считаются установки управляемого термоядерного синтеза, которые называют «Токамак» (рис.41). Впервые созданные в СССР, они доказали свою пригодность к удержанию плазмы при очень высоких температурах, когда можно надеяться на её поджиг, т.е. на устойчивое поддержание реакций синтеза более тяжёлых, чем водород, химических элементов.

Для человечества овладение синтезом водорода и других лёгких элементов (гелий-3) дало бы неисчерпаемый источник энергии. Действительно, такое горючее можно добывать из морской воды везде на побережьях, что сделало бы невозможной его монополизацию отдельной страной или группой стран. Невозможность возникновения в реакторе неуправляемой реакции синтеза и отсутствие продуктов горения – тоже большое преимущество. При этом, нет необходимости применять материалы, которые могут быть использованы для производства ядерного оружия (в отличие от ураново-плутониевых материалов современной ядерной энергетики). В сравнении с ядерными реакторами, в термоядерных количество радиоактивного мусора незначительно, причём эти побочные продукты имеют более короткие периоды полураспада.

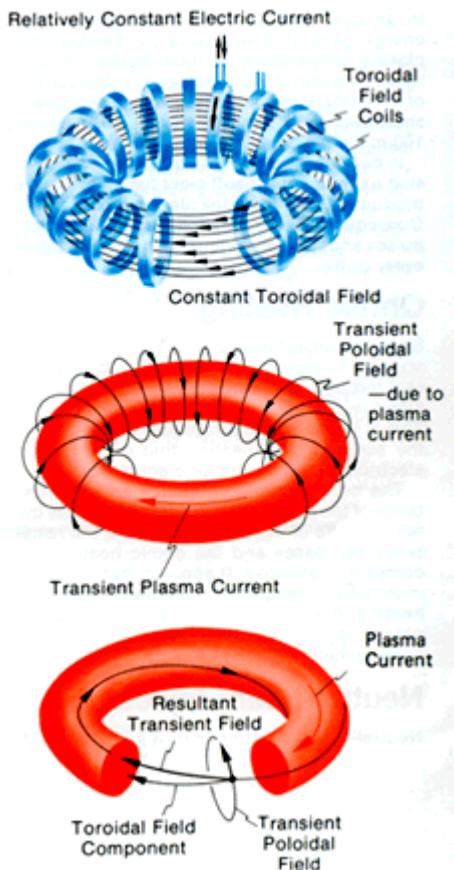


Рис.41. Идея токамака. Аббревиатура от «Тор-роидальная камера в магнитном поле» (для благозвучия «маг» заменили на «мак») [2].

Объём в  $1 \text{ см}^3$ , наполненный жидким дейтерием, при синтезе вырабатывает столько энергии, сколько дают при горении в кислороде 20 т высококачественных углей. Однако, следует учесть, что сегодня существующие исследовательские реакторы были спроектированы на достижение простейшей, т.е. дейтерий-тритиевой (D-T) реакции. Её топливный цикл требует использования редкоземельного металла лития для производства трития, тогда как *декларации о неисчерпаемости* термоядерной энергии относятся к использованию дейтерий-дейтериевой (D-D) реакции в другом поколении реакторов.

Как и реакция деления урана (в ней, как мы уже теперь знаем, возможны серьёзные аварии), управляемые реакции синтеза почти не создают атмосферного загрязнения. Последнее является возможной причиной глобального потепления вследствие сжигания обычных топлив. И в этом - значительное преимущество ядерных технологий. Ведь, например, США, внося пятую часть всех загрязнений на планете, производят 29 кг углекислого газа на одного жителя в день (т.е. 10 т в год, а ведь  $\text{CO}_2$  - основной парниковый газ). Управляемые реакции синтеза производили бы существенно меньше радиоактивных отходов, чем реакции деления тяжёлых ядер, используемые сегодня на существующих атомных электростанциях. Однако, следует отметить, что сказанное относится лишь к продуктам дейтерий-тритиевой (D-T) реакции: единственный её результат - это нейтральный гелий. Дейтерий-дейтериевая реакция (D-D) даёт незначительное количество радиоактивного трития, период полураспада которого составляет «всего» 12,5 лет. Общее же количество радиоактивных отходов очень зависит от типа горючего и используемых в реакторе конструкционных материалов.

Особенностью как D-T, так и D-D реакций является интенсивное нейтронное излучение, которое имеет свойство *активировать* материалы, делая радиоактивным сам реактор. Это означает, что десятки тысяч тонн радиоактивных отходов всё же будут возникать, если не научиться в будущем использовать для синтеза гелий-3, которого очень мало на Земле, но потенциально много в космосе. Например, он есть на Луне.

В отчётах исследований, проведенных по заказу Британского парламента, приводится такая оценка: общий объём радиоактивных отходов будет вполне сравним с обычными ядерными реакторами, причём часть этих отходов нужно будет отправлять на длительное хранение. Перспективным считается использование слабоактивируемых материалов. Однако, они ещё не готовы для будущих термоядерных реакторов (ванадиевые сплавы, карбид кремния  $\text{SiC}$  и некоторые специальные типы сталей). На сегодня было высказано предложение о создании Международного Центра Исследований Облучённых Материалов (International Fusion Material Irradiation Facility), который обойдётся в 600 млн.

евро. Но никаких серьёзных практических шагов в этом направлении пока ещё не сделано.

Обсудим прогнозируемую стоимость термоядерной электроэнергии. Много её критиков отмечают, что вопрос экономической целесообразности использования ядерного синтеза для производства электроэнергии остаётся открытым. В том же исследовании Отдела по Делах Науки и Техники Британского парламента указывается, что вероятная реальная себестоимость производства электроэнергии с использованием термоядерного реактора будет близкой и даже выше традиционных источников энергии. При этом много будет зависеть от будущих технологий, структуры и регулирования рынка. Прямая стоимость электроэнергии также очень будет зависеть от эффективности её использования, времени на обслуживание и стоимости выведения реактора из эксплуатации (трудная на сегодня проблема в отношении промышленных урановых реакторов). Энтузиасты коммерческого использования энергии ядерного синтеза возражают на это, что ископаемое топливо сегодня в значительной мере субсидируется правительством вместо массового развития альтернативных источников. Поэтому, учёт таких субсидий (особенно скрытых) для оценки выгодности термоядерной энергетики является очень сложным и делает корректные сравнения почти невозможными.

Отдельно стоит вопрос оценки стоимости термоядерных исследований. Страны Евросоюза тратят примерно 200 млн. евро в год на такие исследования. По прогнозам учёных, нужно будет ещё несколько десятилетий, пока промышленное использование ядерного синтеза станет возможным. Сторонники альтернативных источников электроэнергии считают, что было бы целесообразнее направить эти средства на внедрение возобновляемых источников энергии. Таким образом, существенные препятствия между современным пониманием процессов ядерного синтеза и технологическими возможностями его практического использования на сегодня ещё не преодолены. Поэтому неясно даже, возможно ли вообще производство электроэнергии с использованием искусственного ядерного синтеза, а если возможно, то является ли оно экономически целесообразным на Земле в принципе. Тем не менее, прогресс в исследованиях вполне заме-

тен. Но, как видим, - и всякого рода препятствий вполне хватает. Одним из главных является вопрос о создании материалов, которые бы выдерживали нейтронную бомбардировку. Ведь расчёты свидетельствуют, что её интенсивность *на два порядка* превышает таковую в традиционных ядерных реакторах!

Различают три этапа исследований термоядерной плазмы:

1. Исследования условий достижения такого уровня, когда выделение энергии вследствие синтеза новых ядер будет равно затратам на поддержку этой реакции (параметр соотношения этих энергий  $Q=1$ ) - уже выполнено.
2. Так называемая «пылающая» плазма, когда энергии синтеза выделяется в пять раз больше ( $Q=5$ ) – на сегодня не достигнуто.
3. Стадия возгорания плазмы (ignition), когда выделений собственной энергии синтеза достаточно для самоподдерживающейся реакции ( $Q \gg 1$ ) – также ещё не достигнуто.

Решительным шагом в термоядерных исследованиях плазмы должно стать создание токамака (рис.41), имеющего название ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor - международный термоядерный экспериментальный реактор). На нём планируют провести исследования пылающей высокотемпературной плазмы ( $Q \sim 10$ ) и испытать новые конструкционные материалы для будущего уже промышленного реактора. Окончательной стадией этих исследований станет сферический реактор DEMO: прототип промышленного реактора. На нём планируется достичь возгорания плазмы и продемонстрировать практическую пригодность новых материалов. Наиболее оптимистические прогнозы завершения фазы создания DEMO: 30 лет. Учитывая время на строительство и введение в эксплуатацию этого потенциально «почти» промышленного реактора, нас отделяет от его внедрения промежуток времени примерно 40 лет. Этот момент посередине XXI века, если он произойдёт, и можно будет считать началом промышленного использования энергии искусственного синтеза легких ядер в мирных целях.

Термоядерные реакторы классифицируют в соответствии со способом удержания горячей плазмы. Большинство исследований проводят с магнитным удержанием. В такой конструкции мощные магниты удерживают горячую плазму в центре камеры, не давая огромной температуре разрушать стенки (100 млн. °C).

Среди разнообразных типов реакторов с магнитным удержанием торроидальные токамаки продемонстрировали наилучшие результаты. Впервые идею магнитного удержания высказал выдающийся советский учёный Олег Лаврентьев, проработавший почти всю жизнь в харьковском УФТИ и недавно скончавшийся (докторскую степень ему так и не присвоили). Другой известный способ удержания плазмы – так называемый *инерционный реактор*. Больше всего такой конструкцией занимаются в США. В нём крошечные шарики-мишени термоядерного горючего (так называемые «пеллеты») в центре камеры «обстреливают» мощным лазером. Поскольку камера является относительно большой, плотность энергии, нагревающей её стенки, оказывается ещё недостаточной для их разрушения. Следует отметить, что существуют и другие, менее изученные методы удержания плазмы. Наверное наиболее экзотичной и неожиданной является идея так называемого холодного термоядерного синтеза (существуют сомнения относительно возможности его осуществления): ядра изотопов водорода превращаются в гелий в кристаллической решётке металла. Некоторые специалисты и даже просто любители в своих экспериментах полагают, что этот простой способ удержания тоже может дать положительный результат. Ведь в решётке палладия или никеля, куда водород легко проникает в качестве примеси, на него действуют большие давления. Но возможно ли начало реакции синтеза подобно тому, как в железе из углерода синтезируются алмазы [18, 20]? Ведь это же ядерная реакция. Однако, известно, что насыщенный дейтерием литий-6 именно так (правда, при очень высоких температурах) выделяет термоядерную энергию. Можно также отметить, что исследовательские спутники фиксируют вблизи Юпитера мощную радиацию, источник которой ещё до конца не установлен. Да и радиация из-под земной поверхности тоже может иметь причиной не только распад тяжёлых изотопов, но и синтез лёгких. Ведь в ядрах планет, как и внутри термоядерной бомбы в момент взрыва, существуют огромные температуры и давления! Немного придавить металлгидрид - и вспыхнет звездочка в установке или в центре Земли...

Описанные здесь три типа реакторов имеют свои преимущества и недостатки. Токамаки лучше исследованы на сегодня и,

видимо, наиболее близки к практическому внедрению. Однако, реактор с инерционным удержанием производит плазму с наилучшими характеристиками. Он наиболее подходит для обработки различных видов оружия, генерации рентгеновских лучей, *сверхмалых реакторов* будущего, в том числе - для космических полётов. Однако, на практике надёжный термоядерный поджиг мишени мощным лазером пока не удаётся (тем не менее, мощности лазеров растут, а можно и электронным пучком попробовать, рис.45!), т.е. на сегодня он ещё не реализован. Современная жёсткая конкуренция между разными термоядерными программами при весьма ограниченном финансировании мирного термояда привела к тому, что практические исследования преимущественно сконцентрированы на токамаках и инерционном удержании (лазерный метод). Поэтому в 2006 г. страны Евросоюза, России, США, Японии, Южной Кореи согласовали строительство экспериментального международного термоядерного реактора (ITER) на юге Франции с полным окончанием работ до 2037-2040 годов.

Реакторы первого поколения будут работать на смеси дейтерия и трития, однако это топливо имеет ряд недостатков. Среди них наверно самый основной – значительные нейтронные излучения (80 % от всех энерговыделений) приводят к появлению вторичной радиации конструкции реактора и малоэффективные возможности превращения термоядерных энерговыделений в электроэнергию. Например, после первой серии испытаний на JET нейтронное облучение (D-T реакция) было настолько значительным, что реактор стал очень радиоактивным и для завершения годового цикла испытаний пришлось создавать роботизированную дистанционную систему обслуживания!

Альтернативным видам термоядерного топлива, которые теоретически на сегодня существуют и лишены указанных недостатков, на практике препятствует принципиальное физическое ограничение: для получения достаточного количества энергии необходимо удерживать плазму с высокой плотностью при температуре синтеза ( $10^8$  К) определённое время. Это характеризуется произведением плотности плазмы  $n$  на необходимое для достижения устойчивого равновесия время удержания нагретой плазмы  $\tau$  (критерий Лоусона). Величина  $n\tau$  зависит от типа горючего

и является функцией температуры плазмы. Из всех видов горючего дейтерий-тритиевая смесь требует наименьшего  $pT$  и наиболее низкой температуры реакции. Таким образом, D-T реакция может и должна стать первым шагом, однако возможность использования других видов топлива также является важной перспективой.

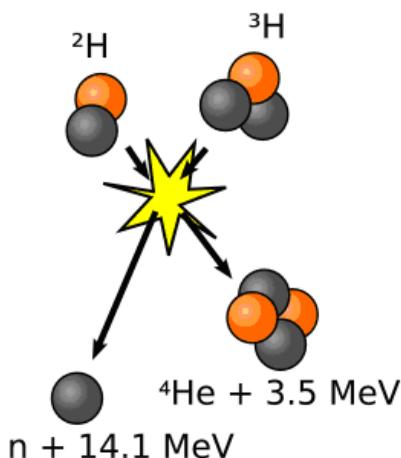


Рис.42. Схема дейтериево-тритиевой реакции для синтеза гелия-4 с выделением быстрого нейтрона. На сегодня считается наиболее простой для промышленного внедрения.

Для сближения атомных ядер на расстояние, достаточное для того, чтобы началось сильное ядерное взаимодействие и происходила реакция синтеза, нужна определённая начальная энергия этих частиц. Если ядро элемента, образованного вследствие объединения ядер, будет легче ядра железа, выделится значительно больше энергии, чем используется на преодоление электростатического отталкивания. Поэтому ядерный синтез и считают перспективным источником энергии для будущего развития современной науки и техники.

В атомном ядре так называемое сильное взаимодействие между нуклонами удерживает протоны и нейтроны вместе, преодолевая более слабое на таких расстояниях электростатическое отталкивание, пытающееся разорвать ядро. Но сильное взаимодействие действует только на очень коротких расстояниях. Это означает, что протоны и нейтроны на поверхности ядра удерживаются вместе слабее, чем протоны и нейтроны в середине ядра. Однако, сила электростатического отталкивания между каждым

из протонов в ядре (сила Кулона) действует на любых расстояниях, причём обратно пропорционально их квадрату. Это приводит к тому, что с увеличением размера ядра силы, его удерживающие от распада, сначала растут до определённого атомного номера (железо), а затем начинают ослабевать. Именно поэтому, начиная с висмута, все ядра тяжёлых элементов являются нестабильными. Таким образом, для осуществления реакции ядерного синтеза следует потратить определённую энергию на преодоление кулоновского отталкивания, чтобы приблизить хотя бы два ядра на такое расстояние, когда включается сильное взаимодействие. Энергию или работу, которая требуется для преодоления силы электростатического отталкивания, называют *кулоновским барьером*.

Кулоновский барьер наименьший для тяжёлых изотопов водорода, поскольку они имеют в ядре лишь один протон и один или два нейтрона. Для смеси дейтерия и трития результирующий энергетический барьер составляет 0,1 МэВ (можно сравнить с энергией ионизации атома водорода, равной 13,6 эВ, т.е. имеем в 7500 раз больше). Когда реакция синтеза завершается, новое ядро переходит из возбуждённого состояния на более низкий энергетический уровень с выделением огромной энергии. В реакции между дейтерием и тритием (табл.11) образуется ядро гелия и нейтрон с энергией 14,1 МэВ, что намного больше, чем было нужно для начала реакции (в терминологии химиков это весьма экзотермическая реакция!). Как мы уже знаем, кулоновский барьер удаётся побороть термическим нагреванием плазмы вследствие больших тепловых скоростей.

Переводя 0,1 МэВ в кельвины, получим температуру свыше 1 млрд.°С, требуемую для начала термоядерного синтеза. Однако, существуют два обстоятельства, вследствие которых ядерные реакции происходят при значительно более низких температурах. Во-первых, эта температура выражает *среднюю* кинетическую энергию, т.е. даже для температур, более низких 0,1 МэВ, часть ядер имеет значительно большую, чем 0,1 МэВ, энергию (распределение Максвелла). Во-вторых, вследствие квантового туннельного эффекта два ядра могут преодолеть барьер Кулона и при меньшей энергии. Вероятность такого события невелика, однако это всё же позволяет получить реакции

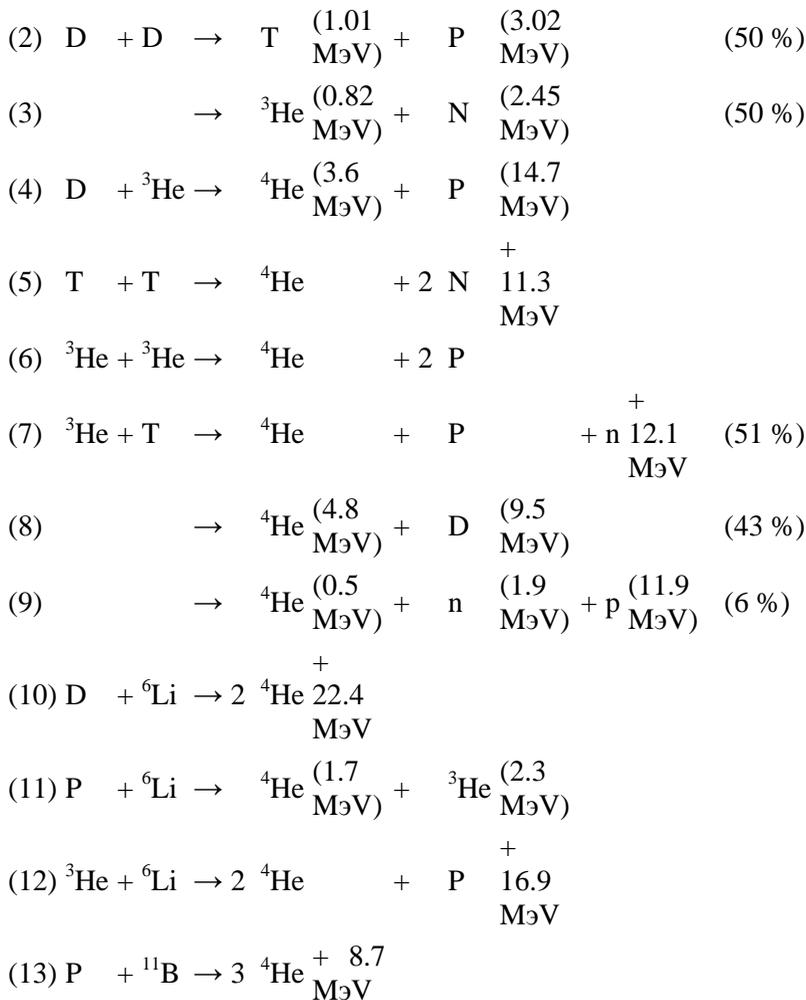
синтеза при более низких температурах, если объём плазмы достаточно большой. Поэтому, внутри Солнца и других звёзд это оказывается возможным даже для четырёх протонов (рис.38).

Ядерный синтез удаётся провести искусственно с помощью ускорителей элементарных частиц. Однако, самым первым устройством, в котором была получена такая реакция, стала вакуумная камера с природным источником  $\alpha$ -частиц и золотой фольгой (опыты Резерфорда начала XX века). Позже были изобретены разнообразные ускорители, в которых также происходили реакции синтеза новых ядер. На таком оборудовании были искусственно синтезированы элементы с атомными номерами, большими 100 единиц. В ускорителях ядерный синтез происходит за счёт энергии электрического поля, ускоряющего протоны,  $\alpha$ -частицы или ещё более тяжёлые ионы. На сегодня самым мощным из них является так называемый Большой адронный коллайдер, недавно введенный в эксплуатацию. Работы на нём постепенно набирают обороты, вызывая страх у обывателей.

Используются также так называемые нейтронные фабрики - источники нейтронов, которые рождаются в реакциях синтеза от столкновений частиц, ускоряемых электрическим полем (миниатюрные источники нейтронов как запалы для атомных бомб «малой» мощности). Подобным образом действуют так называемые фузоры. Это - микрореакторы синтеза с инерционным удержанием плазмы. Их не считают перспективными в качестве источников энергии. Однако фузоры представляют интерес для военных, а также для любителей ядерной физики. Ещё можно отметить так называемые реакторы системы "Поливелл", которые некоторые специалисты оценивают как достаточно перспективные источники ядерной энергии будущего. Но наибольшим действующим проектом термоядерной энергетики сегодня следует, всё же, назвать международный проект ITER (токамак).

Табл.11. Тринадцать важнейших реакций синтеза (p - протон, D - дейтерий, T - тритий, n - нейтрон), согласно [2]:





Для пригодности использования в качестве энергоисточника, реакция синтеза должна удовлетворять следующим критериям:

- Быть обязательно сильно экзотермической.
- Использовать лёгкие элементы (низкие кулоновские барьеры дают меньшие температуры начала реакции).

- Иметь только пару частиц для взаимодействия, поскольку реакции с большим количеством частиц значительно менее вероятны и возможны лишь в недрах звёзд.
- Иметь только два продукта реакции, что проще удовлетворяет законам сохранения энергии и импульса.
- Сохранять протоны и нейтроны.

Чтобы оценить пригодность реакции, кроме её возможных компонентов и высвобождающейся энергии нужно знать такую важную характеристику как поперечное сечение рассеяния частиц  $\sigma$ . Каждый реактор синтеза способен выдержать лишь определённое максимальное значение давления плазмы. Однако, с другой стороны, для того, чтобы быть экономически выгодным, он должен работать при некоторой максимальной плотности плазмы. С таким давлением наибольший выход реакции будет получен при такой температуре, когда выражение  $\langle\sigma v\rangle/T^2$  становится максимальным (см. табл.12). Здесь  $v$  – скорость частиц, а скобки означают усреднение при данной температуре  $T$ . Тогда и величина  $nT\tau$ , необходимая для *зажигания плазмы*, будет минимальной. В табл.12 приведены значения оптимальной температуры и характерного параметра  $\langle\sigma v\rangle/T^2$  некоторых реакций.

Табл.12. Оптимальные температура и параметр  $\langle\sigma v\rangle/T^2$  для некоторых реакций синтеза [2]:

Топливо	$T$ , кэВ	$\langle\sigma v\rangle/T^2$ , $K^3/(c \cdot \text{кэВ}^2)$
D-T	13,6	$1,24 \times 10^{-24}$
D-D	15	$1,28 \times 10^{-26}$
D- $^3\text{He}$	58	$2,24 \times 10^{-26}$
p- $^6\text{Li}$	66	$1,46 \times 10^{-27}$
p- $^{11}\text{B}$	123	$3,01 \times 10^{-27}$

Любая из этих реакций может быть источником энергии синтеза. Однако, для более адекватного понимания, кроме температуры и поперечного сечения, сравним для них также общую энергию синтеза  $E_{\text{fus}}$ , энергию заряженных частиц  $E_{\text{ch}}$  и атомный номер  $Z$  частиц – кандидатов для синтеза более тяжёлых элементов (табл.13). Последний столбик в табл.13 - так называемая *нейтронность* реакции. Это та часть энергии, которая

Табл.13. Дополнительные оптимальные характеристики синтеза:

Горючее	$Z$	$E_{\text{fus}}$ , МэВ	$E_{\text{ch}}$ , МэВ	Нейтронность
D-T	1	17,6	3,5	0,80
D-D	1	12,5	4,2	0,66
D- $^3\text{He}$	2	18,3	18,3	~0,05
p- $^{11}\text{B}$	5	8,7	8,7	~0,001

освобождается в виде нейтронов. Нейтронный фактор, как и для цепных реакций распада тяжёлых ядер, является важным индикатором пригодности в силу большой актуальности проблемы нейтронного облучения (радиационное повреждение материалов, биологическая защита реактора, необходимость дистанционного обслуживания для безопасности персонала). Для первых двух реакций нейтронность рассчитана по формуле  $(E_{\text{fus}} - E_{\text{ch}})/E_{\text{fus}}$ . Для двух последних приводятся приблизительные величины излучений для побочных реакций, которые образуют нейтроны (сами реакции их не производят).

*Поперечное сечение реакции* ( $\sigma$ ) - важная характеристика для понимания возможности реакции синтеза. Это - мера вероятности реакции как функции относительной скорости двух взаимодействующих ядер. Для термоядерной реакции синтеза удобнее рассматривать среднее от произведения поперечного сечения  $\sigma$  на скорость ядра  $v$ , делённые на квадрат температуры  $T$ . Рассмотрим их в табл.14. Величина в колонке «реактивность» указывает, насколько другие реакции происходят медленнее, чем

D-T реакция при тех же условиях. Колонка «Критерий Лоусона» является индикатором того, насколько сложно достичь начала реакции (по сравнению с D-T реакцией\*). Последняя колонка, «плотность энергии», соотносит реактивность с энергией заряженных частиц  $E_{fus}$ . Она характеризует плотность энергии синтеза (в сравнении с D-T реакцией) и может считаться мерой экономичности (нейтроны уменьшают полезную энергию и повреждают реактор).

Табл. 14. Сравнение других параметров термоядерных реакций:

Топливо	$\langle\sigma v\rangle/T^2$	Реактивность	Критерий Лоусона*	Плотность энергии
D-T	$1,24 \times 10^{-24}$	1	1	1
D-D	$1,28 \times 10^{-26}$	48	30	68
D- <sup>3</sup> He	$2,24 \times 10^{-26}$	83	16	80
p- <sup>11</sup> B	$3,01 \times 10^{-27}$	1240	500	2500



Рис.43. Токамак East (Китай). Радиусы тора: внешний 1,7 м; внутренний 0,4 м. Магнитное поле составляет 3,6 Тл [2].

\*Критерий Лоусона для D-T плазмы такой:  $n\tau > 10^{20}$  секунд/м<sup>3</sup>. Как видно из табл.14, проще всего по этому критерию после дейтерий-тритиевой плазмы реализовать термоядерную реакцию в плазме D-гелий-3. Поэтому она тоже считается очень перспек-

ктивной, особенно для космических полётов. Ведь её можно считать безнейтронной (вторичных на порядок меньше, чем для D-T плазмы).

На сегодня лучшие характеристики плазмы, как уже отмечалось, достигнуты на токамаках с дейтериево-тритиевым составом. На рис.43 показан в разрезе экспериментальный сверхпроводящий токамак EAST, Китай, м. Хефей, провинция Анхой. На нём в 2009 г. плазму с температурой 10 млн. К удалось продерживать 400 с, а 100 млн К – в течение 40 с. При этом баланс энергии стал позитивным (соотношение затраты-выделение составило 1:1,25). Всего в мире было создано примерно 300 установок типа «Токамак».

#### **4. Полёт к ближайшим звёздам с использованием энергии термояда**

*«На  $\tau$ -Ките живут в красоте,  
живут, между прочим, по-разному  
товарищи наши по разуму...»  
(В.С. Высоцкий)*

Одна из ближайших к нам планетных систем (уединённая звезда  $\tau$ -Кита, ниже изображённых на рис.26 и левее Дифды, расстояние от Солнца – 12 световых лет) имеет на сегодня выявленных астрономами пять планет. При этом среди них есть планета, находящаяся от центральной звезды на расстоянии, пригодном для возникновения жизни. Нужно отметить, что эта похожая на Солнце звезда  $\tau$  в созвездии Кита (её хорошо видно в телескоп в северном полушарии) уже давно вызывает большой интерес как потенциальный кандидат на существование жизни на одной из её планет, причём возможно, что и разумной. Система возникла раньше Солнечной, так что нас оттуда могли и наблюдать, а может - и посещать в прошлом (или сейчас наблюдают). Однако, оценим возможности собственного исследовательского полёта к окрестностям этой звезды. Последние наблюдения астрономов на быстро прогрессирующих телескопах свидетельствуют о том, что слова известной песни Владимира Высоцкого вполне могут оказаться вещими.

Пусть двигателем для выведения 1000-тонного корабля спиралеобразным раскручиванием за пределы Солнечной системы будет космический парус (возможности других современных реактивных двигателей для таких больших масс ограничены). Учитывая, что начальное давление света на орбите Земли составляет примерно  $u=0,00001 \text{ Н/м}^2$ , общая сила на парус, который должен для обеспечения разгона корабля иметь угол к лучам  $45^\circ$  и площадь  $10 \times 10 \text{ км}^2$ , примерно равняется:

$$F=u \cdot S/2=500 \text{ Н.}$$

Отсюда, имеем ускорение  $a=5 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$ . Такое ускорение обеспечит прирост скорости  $1,5 \text{ км/с}$  в месяц. Поскольку третья космическая скорость с поверхности Земли равна  $17 \text{ км/с}$ , а первую космическую в  $7,9 \text{ км/с}$  создадут водородные двигатели (корабль придётся собирать на орбите), потребуется набирать дополнительных  $9 \text{ км/с}$ . Как видим, на это нужно было бы всего полгода при таком ускорении. Однако, эффективность космического паруса при удалении от Солнца падает, поэтому время разгона возрастает в несколько раз (детали расчёта опускаем). Таким образом, скорость корабля относительно Солнца возрастёт от  $30 \text{ км/с}$  до величин при выходе из Солнечной системы, не больших  $100 \text{ км/с}$ .

За  $1 \text{ с}$  свет проходит путь  $300 \text{ тыс км}$ . Поскольку скорость нашего корабля имеет величину, в тысячи раз меньшую, то и путешествие к звезде  $\tau$ -Кита потребует несколько десятков тысяч лет, что является абсолютно неприемлемым. Парус можно взять большим, например  $100 \times 100 \text{ км}^2$ . Расчёты свидетельствуют, что для таких больших площадей конечная скорость после разгона достигнет тысяч км/с (релятивистские эффекты замедления времени ещё будут при этом незначительны). Тогда время полёта можно сократить до величин в сотню лет. Если же на таком парусном звездолёте лететь до ближайшей звёздной системы (двойная звезда  $\alpha$ -Центавра  $4,3 \text{ св. года}$  и Проксима центавра  $4 \text{ св. года}$ ), то время полёта можно сократить ещё в три раза. Однако, такой большой парус очевидно будет иметь значительную массу, что повлияет на ускорение корабля при разгоне и, соответственно, увеличит время полёта. Если же учесть, что такая водородная термоядерная энергия внешнего давления лучей на парус убывает обратно пропорционально квадрату расстоя-

ния до звезды, то возможность полётов между звёздами только с помощью паруса вызовет большие сомнения. Тем не менее, он может, всё же, быть полезным как важное вспомогательное средство при разгоне, а особенно – для торможения корабля при достижении звезды назначения (тоже серьёзная проблема).

Пусть задачу управляемой термоядерной реакции синтеза удалось решить и создан соответствующий реактивный двигатель. Тогда температура в его камере сгорания (плазма от её стенок изолируется магнитным полем) будет больше в десятки и сотни тысяч раз, чем при обычном горении водорода, когда скорость вытекания газов равна примерно 4 км/с. Соответствующий рост удельного импульса топлива в сто или даже тысячу раз (как корень квадратный из температуры) позволит получить значительно большую скорость. Как уже отмечалось раньше, для космических полётов наиболее подходят безнейтронные реакции и первая из них – дейтерий с гелием-3. He-3 на Земле является большой редкостью (по оценкам - всего около 1 т), однако его значительно больше на Луне (считают, что – на порядок). С такими двигателями время полёта до ближайших звёзд можно сократить до десятков лет, а возможно, что и быстрее.

Можно отметить, что при больших скоростях корабля (и значительных его размерах) может стать полезным атомарный и частично ионизированный водород межзвёздной среды, который есть везде. Ведь потенциально это - и рабочее тело реактивного двигателя, и термоядерное горючее, и материал для пополнения запасов воды. Идею такого гигантского прямого реактивного двигателя предложил в 1960 году Роберт Бассард. Межзвёздная среда содержит в среднем  $10^{-21}$  кг/м<sup>3</sup> атомарного водорода. Согласно оценкам, требуемый объём пространства для сбора 1 г водорода равен  $10^{18}$  м<sup>3</sup>. Соответствующий размер собирающей воронки (магнитное поле впереди корабля) должен составлять тысячи и даже десятки тыс. км - как Луна или Земля. Но можно двигаться ещё быстрее!

Концепция ракеты Бассарда на сегодня имеет много нерешённых теоретических проблем. Так, например, реализовать термоядерную управляемую реакцию на основе не дейтерий-тритиевого водорода (протий в природе – главный изотоп) чрезвычайно сложно. На Солнце такие реакции возможны исключи-

тельно благодаря огромным размерам его центральной термоядерной зоны. Однако, идея ракеты Бассарда с постоянно действующим прямоточным водородным термоядерным двигателем, несмотря на все её проблемы, представляется интересной и требует дальнейшего исследования. Максимально возможная скорость (при условии решения всех технических вопросов) для неё может достигать  $0,1 \cdot c = 30$  тысяч км/с, что, с токи зрения рассмотренных ранее расчётных скоростей полёта до звезды  $\tau$ -Кита и других, было бы чудесно. Полёт в одну сторону продлился бы 100 лет, а до системы Центавра – десятки лет.

Очень перспективным уже сейчас является проект ядерного взрыволёта (рис.44), который разрабатывали американские учёные в 50–60 годах для полётов к ближайшим звёздам. Масса последней модели корабля проектировалась на 500 тыс. т (после разгона становится 100 тыс. т), количество ядерных зарядов 300 тыс. шт., диаметр отражающей тяговой плиты 400 м (сталь, покрытая слоем углерода, причём натурные эксперименты на ядерном полигоне подтвердили пригодность такой плиты).

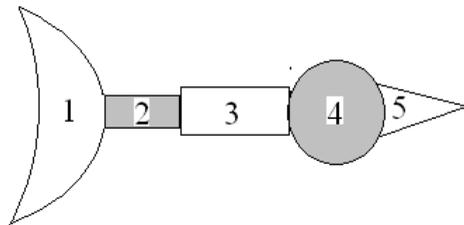


Рис.44. Схема звездолёта «Орион»: 1 – отражающая тяговая плита воспринимает импульсы от термоядерных взрывов; 2 – амортизатор; 3 – технический блок; 4 – жилой отсек; 5 – навигационный блок.

Конечная скорость после разгона – 10 тыс. км/с. Время перелёта к системе Центавра – 130 лет. Экипаж должен состоять из тысяч в большинстве молодых людей – своеобразный Ноев Ковчег будущего. В целом на сегодня такой проект выглядит экзотикой, поскольку этот грандиозный замысел потребовал бы задействовать ресурсы всего человечества (накопленного ядерно-

го боезапаса всё равно бы не хватило). И, всё же, в свете нынешних военных приготовлений и международных конфликтов, уносящих жизни многих тысяч в большинстве молодых людей, так и хочется воскликнуть: «Лучше бы космосом занимались!». Но кто прислушивается к голосам учёных, если миром правят олигархи, для которых главное – власть и прибыль? И что люди будут делать в условиях экологической катастрофы, которая уже не за горами?

Ещё один интересный проект – беспилотный двухступенчатый термоядерный взрыволёт «Дедал» (рис.45), который разрабатывался группой из 11 английских учёных Британского межпланетного общества в 1970-1978-х годах для сбора информации о системе звезды Барнарда. Полёт должен продлиться 50 лет, после чего собранная информация передалась бы мощным радиопередатчиком на Землю. Двигатель – импульсный термоядерный реактивный двигатель с большой частотой взрывов при разгоне на реакции D-He3. Характеристики этого гипотетического устройства свидетельствуют о детальной разработке всех узлов конструкции как целого. Понятно, что проект «Дедал» реализовать значительно проще, чем звездолёт «Орион». Это можно делать уже сейчас. Для большей убедительности приведём некоторые характеристики двигателей двух ступеней и массовые характеристики звездолёта «Дедал» (источник: интернет-сайт [althernathistory.livejournal.com](http://althernathistory.livejournal.com), согласно отчёту 1978 года):

А. Первая и вторая ступени звездолёта «Дедал»:

Скорость истечения водорода, км/с	10600;	9200
Тяга двигателя, кН	7530;	663
Расход топлива, кг/с	0,711;	0,072
Масса вбрасываемой мишени, г	2,84;	0,29
Энергия импульса поджига, МДж	2700;	400
Коэффициент сжатия	1000;	2000
Масса фокусирующих соленоидов, т	194;	73
Индукция фокус. магн. поля, Т	0,1;	0,2
Масса камеры сгорания, т	220;	25
Диаметр камеры сгорания, м	100;	44
Время работы ступени, годы	2,05;	1,76

Б. Другие характеристики 1-й и 2-й ступени, а также ПН:

Стартовая масса (сухая), т	1690;	980
Масса топлива, т	46000;	4000
Длина, м	125;	95
Диаметр, м	190;	76
Количество топливных баков	6;	4
Диаметр баков, м	60,8;	30,8
Масса полезной нагрузки, т	450	

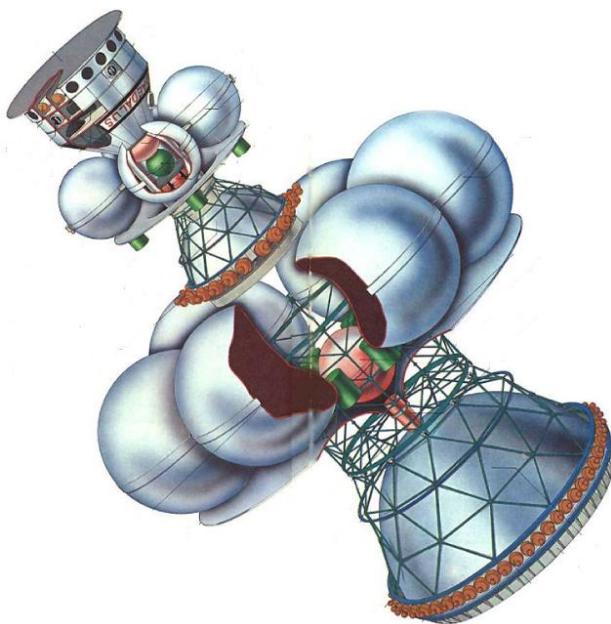


Рис.45. Двухступеневый беспилотный термоядерный взрыволёт «Дедал» для полёта к звезде Барнарда (6 св. лет). Время полёта - 50 лет. Общая масса 54000 т (топливо 50000 т). Всего в 20 раз больше по массе и в 3 раза по длине от американской ракеты «Сатурн-5». Состоит из двух параболических камер сгорания, сферических баков с пеллетами (загрузка D-He3 смеси аэростатом на орбите Юпитера из его атмосферы), баков с жидким водородом (рабочее тело, показаны в разрезах), собственно зонда с антиметеоритной защитной плитой (вверху), несущей конструкции (фермы), магнитных фокусирующих соленоидов (кружки по

ободам камер) и других частей. Источник: интернет-сайт epizodsspace.narod.ru.

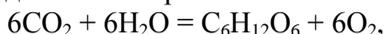
## **Раздел 13. Сельское хозяйство как термоядерная технология на основе фотосинтеза растений. Энергия прогресса**

*«Истину мы не можем найти – вынуждены её творить»  
(Марсель Пруст)*

### **1. Фотосинтез - основа существования жизни на Земле**

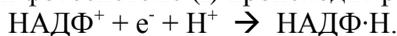
Водород играет важную роль в явлении, которое без преувеличения составляет основу жизни на Земле. Это – фотосинтез. Слово фотосинтез (в переводе с греческого языка *φωτο* - свет и *σύνθεσις* - вместе) означает процесс образования органических соединений из углекислого газа, воды и энергии света с участием так называемых фотосинтетических пигментов (хлорофил у растений, бактериохлорофил и бактериородопсин у бактерий). Происходит с выделением кислорода как некоторого побочного продукта. Это - чрезвычайно сложный процесс, который включает в себя долгую последовательность биохимических реакций. Фотосинтез происходит внутри высших растений, водорослей, многих бактерий и наипростейших организмов (фототрофы). Он играет первичную, а значит - основополагающую роль в кругообороте углерода в природе (на Земле возникла именно углеродная форма жизни). Фотосинтез - единственный процесс в биосфере, который позволяет живой материи усваивать и перерабатывать лучевую энергию Солнца. Поэтому, именно он обеспечивает возможность существования как большинства современных растений, так и всех так называемых гетеротрофных организмов, не способных самостоятельно к фотосинтезу. Явление фотосинтеза и особую роль в нём водородных связей продолжают изучать и сегодня, поскольку конкретные закономерности и последовательности процессов чрезвычайно сложны и до конца ещё не изучены.

Наиболее общее химическое уравнение фотосинтеза, если не рассматривать многочисленные промежуточные этапы, на первый взгляд выглядит весьма просто:



где единственным продуктом реакции, кроме кислорода, является  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  (моносахариды и, прежде всего, - глюкоза). Различают *оксигенный* и *аноксигенный* типы фотосинтеза. Оксигенный является наиболее распространённым. Он происходит в растениях, цианобактериях и прохлорофитах. Аноксигенный фотосинтез возникает в так называемых пурпурных, некоторых зелёных бактериях и гелиобактериях. Явление фотосинтеза можно разделить на три этапа: *фотофизический*, *фотохимический* и *химический*. На первом происходит поглощение энергии фотонов света пигментами, их переход в возбуждённое состояние и передача энергии другим молекулам фотосинтезирующей системы. На втором этапе происходит разделение зарядов в некотором реакционном центре, перенос электронов вдоль фотосинтезирующей электроннотранспортной цепи, который завершается синтезом молекул АТФ и НАДФН как носителей. Первые два этапа как целое называют светозависимой стадией фотосинтеза или *световой фазой*.

Третий этап (*темновая фаза*) происходит уже без обязательного участия света и включает в себя биохимические реакции синтеза органических веществ с использованием накопленной энергии (цикл Кальвина и глюконеогенезис, образование сахаров и крахмала из углекислого газа воздуха). Различают также две разделённые в пространстве фотосистемы, между которыми переносятся электроны от возбуждённых светом молекул хлорофилла. В первой фотосистеме (I) происходит реакция:



Водород, который образуется в процессе фотолиза воды, восстанавливает молекулу НАДФ и она транспортирует его для восстановления атмосферного углекислого газа  $\text{CO}_2$  до глюкозы.

В фотосистеме (II) под действием энергии фотонов в присутствии ферментов происходит фотолиз воды:



В световой фазе также вырабатываются молекулы АТФ, которые обеспечивают энергией и материалом синтез глюкозы в темновой фазе.

Фотосинтез растений осуществляется в *хлоропластах*, которые являются полуавтономными двухмембранными органеллами клетки. Хлоропласты могут быть и в клетках плодов, стеблей, однако наиболее характерным и важнейшим органом, где преимущественно и происходит фотосинтез, являются *листья*. В этом удивительном изобретении природы находятся наиболее богатые хлоропластами живые ткани — палисадная или фотосинтезирующая паренхима. У некоторых суккулентов с вырощенными листьями (например, кактусы) основная фотосинтетическая активность связана с их стеблями. Свет для фотосинтеза эффективно поглощается, благодаря плоской форме листка: она обеспечивает большой коэффициент соотношения площади поверхности к объёму. Вода подаётся от корня развитой сетью сосудов (прожилки листка). Углекислый газ поступает, благодаря его диффузии через кутикулу и эпидермис, однако значительная часть диффундирует в листья и продыхи также и вдоль листка через междуклеточное пространство. При этом у фотосинтезирующих растений в процессе их эволюции сформировались особенные механизмы активной ассимиляции углекислого газа.

Передача энергии во время фотосинтеза происходит резонансным образом (механизм Ферстера), причём для одной пары молекул это длится примерно  $10^{-10} - 10^{-12}$  с = 1-100 пс. Расстояние, на которое она передаётся, примерно равно  $10^{-9}$  м = 1 нм. Ежегодная эффективность фотосинтеза на Земле составляет 150 млрд тонн органических веществ с выделением в атмосферу 200 млрд тонн кислорода, который обеспечивает дыхание и поддержание озонового слоя, защищающего совместно с магнитным полем жизнь на планете от радиации. При этом кпд фотосинтеза равен всего 1-2 % от той энергии света, которую Земля не отражает в космос (планетой поглощается примерно 2/3 от всего потока лучевой энергии Солнца).

Светособирающий комплекс фотосистемы (I) содержит примерно 200 молекул хлорофила (комплекс P700). В её реакционном центре максимум светового поглощения приходится на

длину волны 700 нм. После возбуждения квантом света в нём восстанавливается первичный акцептор (хлорофил А), а тот восстанавливает вторичный акцептор (витамин К<sub>1</sub>). После этого электрон передаётся на филохинон, а от него - на феридоксин, который и восстанавливает НАДФ с помощью специального фермента (феридоксин-НАДФ-редуктаза). Белок пластоцианин, окисленный в так называемом b<sub>6</sub>f комплексе, транспортируется в реакционный центр первой фотосистемы и восстанавливает окисленный комплекс P700.

Кроме описанного вкратце нециклического пути электрона, выявлены также циклический и псевдоциклический. Суть циклического пути состоит в том, что феридоксин вместо НАДФ восстанавливает пластохинон, который переносит его в обратном направлении на b<sub>6</sub>f комплекс. В результате, образуется большой протонный градиент и больше молекул АТФ, но не возникает НАДФ·Н. При псевдоциклическом пути феридоксин восстанавливает кислород, который затем превратится в воду и может быть использован в фотосистеме II. При этом также не образуется НАДФ·Н.

В темновой стадии с участием АТФ и НАДФ·Н происходит восстановление CO<sub>2</sub> до глюкозы. Хотя энергия света уже не нужна для осуществления этого процесса, однако он, всё же, принимает участие в его регуляции (информационное влияние). При этом происходят:

- 1) C<sub>3</sub> — фотосинтез (*цикл Кальвина*) или восстановительный пентозо-фосфатный цикл, как его ещё называют, состоит из карбоксиляции, восстановления и регенерации акцептора CO<sub>2</sub>;
- 2) C<sub>4</sub> – фотосинтез или *цикл Хетча-Слэка-Картилова*.

Более детальное рассмотрение этих двух этапов темновой стадии мы проводить не будем.

Различают также так называемый САМ фотосинтез. При САМ (*Crassulaceae acid metabolism*) фотосинтезе происходит разделение ассимиляции CO<sub>2</sub> не в пространстве, как в C<sub>4</sub>, а во времени. Ночью в вакуолях клеток, как и в предыдущих случаях, при открытых продыхах накапливается вещество малат, а днём при закрытых продыхах идёт цикл Кальвина. Этот механизм позволяет максимально экономить воду, однако он уступает по

эффективности и  $C_4$ , и  $C_3$ . Такой цикл оправдывает себя в условиях засухи.

Фотосинтез является основным источником биологической энергии, которую фотосинтезирующие автотрофы концентрируют для образования органических веществ из неорганических. Все другие (гетеротрофы и люди - в их числе) существуют за счёт энергии химических связей, созданной из солнечной автотрофами, освобождая её в процессах дыхания. Энергия, получаемая человечеством при сжигании ископаемых топлив (уголь, нефть, природный газ, торф), также есть результат фотосинтеза предыдущих биосфер. Таким образом, фотосинтез является главным (или одним из главных, см. третью главу) способом привлечения неорганического углерода в биологический цикл. Кислород атмосферы имеет биогенное происхождение как побочный продукт фотосинтеза. Формирование окислительной атмосферы полностью изменило состояние земной поверхности, создало возможность дыхательного процесса, а впоследствии - после образования *мощного озонового слоя* - позволило жизни выйти на сушу (люди вынесут жизнь на другие планеты).

Считается, что фотосинтез впервые открыл и исследовал Джозеф Пристли (1770—1780) — открыватель кислорода. Однако, сельскохозяйственная практика людей за многие тысячи лет великолепно «изучила» эмпирически особенности, связанные с фотосинтезом. Но Джозеф Пристли проводил свои опыты именно *с научной целью*. Он обратил внимание на «испорченный» свечей воздух в герметично закрытой посудине (воздух терял способность поддерживать горение, а помещённые в него животные – жертвы науки - задыхались быстрее, чем без горячей свечи). Однако растения этот воздух «исправляли», возобновляя возможность горения. Пристли сделал вывод, что растения выделяют кислород, необходимый для дыхания и горения, не отметив, однако, что для этого растениям требуется свет (позже это доказал Ян Ингенгауз).

В последствии было установлено, что, кроме выделения кислорода, растения также поглощают углекислый газ и с участием воды (точнее – её водорода) синтезируют на свету органические вещества. В 1842 году Роберт Майер на основе открытого им закона сохранения энергии постулировал, что растения пре-

вращают энергию солнечного света в энергию химических связей. В 1877 году Вильгельм Пфедфер назвал этот процесс фотосинтезом.

Хлорофил как светочувствительный элемент был впервые выделен в 1818 году П. Ж. Пелетье и Жозефом Каванту. Разделить пигменты и изучить их по отдельности удалось М. С. Цвету с помощью созданного им *метода хроматографии*. Спектры поглощения хлорофила были изучены К. А. Тимирязевым. Он же, развивая теорию Майера, доказал, что именно поглощение видимого света определённых длин позволяет *повысить энергию системы*, создав вместо слабых связей С-О и О-Н высокоэнергетические С-С. Сделано это было, благодаря созданному им методу учёта фотосинтеза *по количеству использованного CO<sub>2</sub>* в экспериментах с освещением растения разными длинами волн (разных цветов). И вот оказалось, что интенсивность фотосинтеза совпадает со спектром поглощения хлорофила.

Гипотезу об окислительно-восстановительном характере фотосинтеза высказал Корнелис ван Ниль. Он утверждал, что кислород в фотосинтезе образуется исключительно из воды. Это окончательно доказал в 1941 году О.П. Виноградов в опытах с изотопной меткой. В 1937 году Роберт Хилл показал, что процесс окисления воды (и выделения кислорода), а также ассимиляции CO<sub>2</sub>, можно разбить. В 1954—1958 годах Дэниэл И. Арнон открыл механизм световых стадий фотосинтеза, а суть процесса ассимиляции CO<sub>2</sub> была раскрыта Мельвином Кальвином, благодаря использованию изотопов углерода (конец 1940-х годов). За эту работу в 1961 году ему была присуждена Нобелевская премия. C<sub>4</sub> - фотосинтез был впервые описан Ю. С. Карпиловым в 1960 году, а исследован М. Д. Хетчем и К. Р. Слэком в 1966 году. Однако, как мы уже отмечали, процессы фотосинтеза продолжают и дальше изучаться учёными.

## 2. Перспективы искусственного фотосинтеза

*«То, что верно для физики,  
будет верно и для экономических наук»  
(Морис Алле)*

Известные на сегодня стадии фотосинтеза иллюстрируют чрезвычайную сложность этого природного явления и бесперспективность в ближайшем будущем его искусственного воспроизведения. С другой стороны, в этом нет никакой срочной необходимости, поскольку человечество прекрасно и давно научилось использовать зелёные растения и, к сожалению, животных для воспроизводства пищевых и технических продуктов сельского хозяйства, промышленности, дизайна и прочих потребностей. Основой нашей жизнедеятельности являются именно природные процессы фотосинтеза, когда используется лучевая энергия Солнца и накопленные предыдущими биосферами (а может и в абиогенных процессах) её земные запасы в виде нефти, газа, металлических руд и других полезных ископаемых, которые сегодня так неразумно «разрабатываются» человечеством в ущерб экологии. Поэтому, учёным остаётся продолжать исследования всё новых особенностей фотосинтеза, чтобы глубже понять это замечательное явление в целях его более рационального использования и улучшения экологии окружающей среды, которую раньше люди называли природой.

Таким образом, искусственное воспроизводство фотосинтеза сегодня пока не представляется возможным. Но это вовсе не означает, что не нужно дальше совершенствовать условия его осуществления. Главное из них – обеспечение оптимальных световых и тепловых режимов для зелёных растений в локальных и глобальных экосистемах. При этом важно понимать, что глобальные регуляторные процессы для человечества неподвластны, однако можно и жизненно необходимо уменьшать галопирующее антропогенное давление. Этого уже будет достаточно для выживания людей и дикой природы. На таком пути много проблем и одна из них – овладение термоядерным синтезом, о чём говорилось выше. Для людей на Земле это ещё не является срочной необходимостью, поскольку Солнце и звёзды и так прекрасно снабжают нас термоядерной энергией. Однако человечеству для выживания неизбежно придётся идти к другим планетам и звёздным системам. И в этом процессе такие громоздкие и грязные устройства как урановые реакторы (пусть даже и на быстрых нейтронах) в будущем окажутся лишними, поскольку люди овладеют значительно более эффективными реа-

кциями термоядерного синтеза и, в частности, - реакцией He-3 - дейтерий, которая почти не сопровождается вредной радиацией.

### 3. Энергия прогресса или немного об экономике

*«Философы лишь различным образом  
объясняли окружающий мир; однако дело  
состоит в том, чтобы его изменить»  
(Карл Маркс, 1848 год)*

Согласно выводам некоторых экономистов, сегодня для понимания кризисных явлений в мировой экономике следует вернуться к первичным идеям школы Кене, который впервые сопоставил труд крестьян с деятельностью ремесленников и «управленцев»-собственников (феодалное государство). Похоже, что классические представления о механизмах современного капиталистического производства и распределения общественного продукта являются слишком упрощёнными и не учитывают главного. Суть в том, что при определении стоимостей произведенных товаров и услуг олигархическим государством не учитывается принципиальная разница между продуктом сельского хозяйства и результатами промышленной деятельности. Это, согласно мнению сторонников экономической физики (или *физической экономики*), является причиной углубления мирового экономического кризиса и ведёт к экологической катастрофе.

Современные промышленное производство и сельское хозяйство основаны на использовании энергии невозобновляемых источников – нефти, природного газа, углей. Однако, главным ресурсом сельского хозяйства является солнечная энергия, т.е. вполне возобновляемая и «не имеющая стоимости», в то время как другие отрасли могут без неё и обойтись - ведь они используют аккумулированную солнечную энергию углеводов или ядерную. Следует также учесть, что производство продуктов питания является более первичным, чем все другие, поэтому приравнивать его результаты к тем, что дают промышленность, а тем более, - сфера услуг, принципиально является не оправданным упрощением. К таким выводам пришёл, в частности, выдающийся украинский учёный второй половины XIX века

Сергей Подолинский после изучения идей школы экономистов-физиократов о так называемом «чистом продукте».

Одним из фундаментальных утверждений школы Франсуа Кене стало специфическое толкование сущности производства. В отличие от не только существующих тогда, но и многих современных экономистов, обслуживающих интересы олигархов, физиократы утверждали, что лишь земледелие в действительности является «истинным» производством. Провозглашение земледелия единственным источником прибавочного («чистого») продукта стало путеводной идеей физиократов. «Чистый» продукт, — писал Ф. Кене в статье «Налоги» для «Энциклопедии», которую издавали французские просветители XVIII века, — это ежегодно создаваемые богатства, которые образуют доход нации. Это продукт, который *остаётся после вычета всех затрат*, т.е. он представляет собой прибыль, полученную с земельных владений. Эта идея стала основополагающим принципом, который и обеспечил целостность всего физиократического учения.

Что касается промышленности, то физиократы называли её непродуктивной сферой. По утверждениям Ф. Кене, в этой отрасли «чистый» продукт не создаётся (простая обработка материалов). Поэтому «богатства, создаваемые промышленным трудом, возникают лишь благодаря доходам, которые даёт земля и сами по себе они являются богатствами бесплодными, т.е. такими, которые воспроизводятся лишь с помощью доходов от земельных угодий». Таким образом, промышленность, согласно учению физиократов, лишь придаёт новую форму сырью и материалам. Дальше Ф. Кене развивал эту идею в своём трактате «О ремесленном труде» (1766), где писал, что производство богатства означает его возобновление, а потребление богатств — это уничтожение материальных благ.

На аналогичных представлениях обосновывалась интерпретация и сферы распределения. Они и сегодня остаются актуальными для системы налогообложения. Свыше 250 лет тому назад Ф. Кене одним из первых высказал идею прогрессивных налогов на классы, которые присваивают "чистый" продукт. Соответствующей была интерпретация сферы обмена и сущности денег. «Деньги сами по себе не удовлетворяют человеческих потребностей и не порождают новых денег. Без реальных бо-

гатств денежные богатства оставались бы богатствами бесплодными и бесполезными", — писал Ф. Кене, поскольку деньги "не

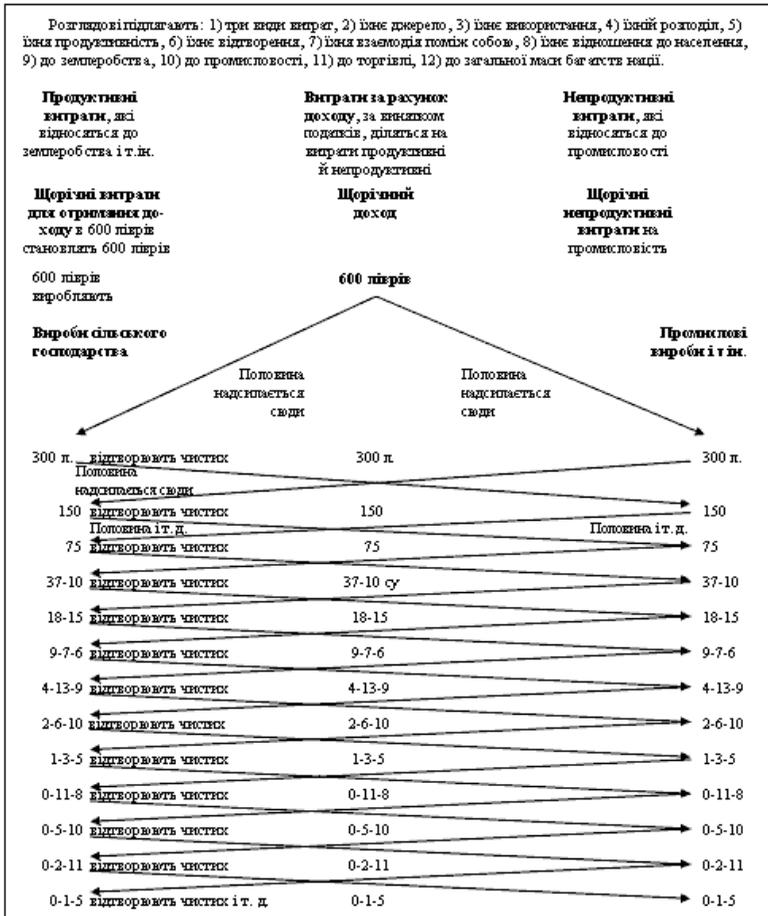


Рис.46. Экономическая таблица Франсуа Кене [26]. Государство производит в годовой оборот 600 ливров. Воссоздаётся всего 600 ливров дохода плюс годовые затраты в 600 ливров и процент на первичные вложения хлебороба в 300 ливров, которые земля возвращает. Таким образом, воссоздаётся 1500 ливров, включая доход в 600 ливров, который образует базу расчёта, за исключением оплаты налога и затрат, необходимых для его ежегодного воспроизводства. И так каждый годовой цикл.

потребляются и не возобновляются, а всегда служат лишь для обмена таких богатств, которые пригодны для употребления" [26]. Например, хлебные батоны, изготовленные из чистого золота, к употреблению *совершенно непригодны*.

Системным обобщением построенного на природных законах учения в виде первой формализованной экономической модели стала знаменитая "Экономическая таблица" Ф. Кене (рис.46). С её помощью учёный показал, каким образом осуществляется движение создаваемого в земледелии "чистого" продукта. Поэтому можно утверждать, что Ф. Кене и его последователи заложили оригинальную и до сих пор ещё недостаточно развитую концепцию общественного воспроизводства, основанную на принципах физической экономии. В определённом смысле её источниками следует считать законы сохранения и второе начало термодинамики, открытые несколько позднее. Несмотря на важность вклада в экономическую науку, результаты открытий физиократов и сегодня воспринимаются неадекватно их истинному значению. Ведь когда ещё современник физиократов Адам Смит утверждал, что физиократическая система, при всех её недостатках, является "возможно наилучшим приближением к истине из опубликованного на предмет политической экономии", то он, очевидно, не до конца осознавал, что школа физиократов была не только началом классической экономической науки, но и первой школой будущей физической экономии.

Научные исследования С. А. Подолинского (1850–1891), особенно его книга "Труд человека и его отношение к распределению энергии" (1880)<sup>1</sup> стали важным развитием идей Франсуа Кене на основе достижений классической термодинамики (первый и второй законы). Ключевой характеристикой макросистемы является её энергия. С. А. Подолинский исходил из того, что общая сумма энергии неизменна, в то время, как в отдельных частях Вселенной она распределена неравномерно. Это

---

<sup>1</sup> Работа С. А. Подолинского "Труд человека и его отношение к распределению энергии" была впервые напечатана в 1880 году в петербургском журнале "Слово", а в следующие годы в более развёрнутом виде во французских, немецких и итальянских издательствах.

приводит к её постепенному рассеянию, что позволяет людям влиять на её движение и накопление. Учёный доказывал, что *наделённый интеллектом* человек как субъект управления потоками энергии может, помогая биосфере, сознательно противодействовать энтропийным процессам, т.е. оказывается в состоянии избегать её разбрасыванию и окончательному превращению в тепло. Другими словами, потенциальной сущностью каждого отдельного человека и человечества в целом как космических существ является способность запасать информацию и энергию высокого уровня (не тепловую) на поверхности Земли.

Выражаясь современной терминологией, Сергей Подолинский трактует труд человека на земле как деятельность некоего управляющего субъекта в тепловой машине Солнце-Земля-Космос (рис.47). Таким образом, ключевым рычагом влияния людей на энергетические потоки становится отношение человеческого труда к распространению солнечной энергии. При этом учёный различает два вида возможностей накопления энергии:

*Первая (благоприятная)* — когда хлеборобы, ремесленники (микроэкономический уровень) или целая страна (макроэкономический уровень, а сегодня – мировая экономика) осуществляют труд для индивидуального или совместного обогащения, экономического роста;

*Вторая (неблагоприятная)* — разворовывание запасов солнечной энергии её неэффективным рассеянием в тепло.

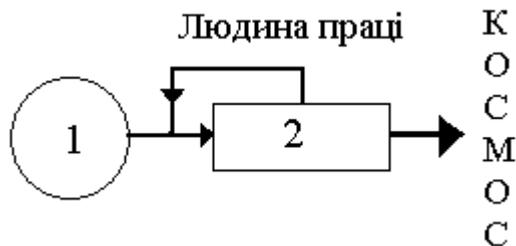


Рис.47. Путь энергии прогресса от Солнца (1) к Земле (2) и роль человеческого труда как элемента биосферы в накоплении её запасов растительным и животным миром планеты через фотосинтезирующие клетки.

Особого внимания заслуживает толкование категории «труд»: «ничего не создаётся человеческим трудом», поскольку человек не в состоянии самостоятельно создавать материю (вещество) или же солнечную энергию, однако он может помогать природе нагромождать энергию в веществе и сохранять её от рассеяния. Правда, человек на Земле уже смог на доли секунды зажечь звезду (водородная бомба), но это «нагромождение» было больше похоже как раз на рассеяние энергии.

Наверно и сегодня большинство экономистов ещё не в состоянии (либо не решаются) всесторонне осмыслить всю глубину идеи Кене-Подолинского с их последователями, основу которой составляют законы термодинамики. Отметим, что в отличие от других разделов физики, классическую термодинамику Альберт Эйнштейн называл таким завершённым разделом, который уже не может быть усовершенствован. Поэтому её выводы и законы в определённом смысле можно считать окончательными.

Рассмотрение Земли как неотъемлемой составляющей Солнечной системы позволило учёному процесс хозяйствования человека на его планете трактовать как часть экономики Космоса. К большому сожалению, никто из его современников не оказался в состоянии осмыслить гениальность сделанного С. А. Подолинским открытия, а среди нынешних интеллектуалов на это решаются лишь отдельные смельчаки. Украинец Сергей Подолинский достойно развил идеи француза Франсуа Кене, предложив "энергетический бюджет человечества в целом" с позиций *физической экономики*, вместо экономии политической, которая и сегодня продолжает исподволь защищать интересы определённых групп, владеющих средствами производства и осуществляющих контроль над потреблением благ. Первым внедрив в научную среду упомянутое понятие, он одновременно заложил основы методологии того, что сегодня именуется анализом глобального уровня хозяйствования.

С. А. Подолинского можно считать предвестником принципиально новых подходов к теориям экономического роста, причём его самым существенным вкладом явилось открытие антиэнтропийных функций индивидов и общественных институтов, труд которых обеспечивает, с одной стороны, накопление энергии, а с другой — её защиту от рассеяния. Индивидуальное и

общественное обогащение может достигаться благодаря аккумулярованию солнечной энергии (или захвату контроля над её запасами группой лиц!), её «связыванию» в разнообразных формах. Эта идея и сегодня остаётся практически ещё не реализованной (поскольку ещё не набрала силы водородная энергетика, в частности, - термоядерная). Подолинский аргументированно доказывал, что правильное земледелие является наилучшим видом полезного труда, которое преумножает запасы солнечной энергии на земной поверхности. Отсюда, истинным обогащением человека как существа космического может быть (и в действительности есть) лишь то количество солнечной энергии, которое он способен улавливать, сохранять и использовать для удовлетворения своих материальных и духовных потребностей.

В противоположность этому, человеческая деятельность, связанная с использованием созданной природой энергии, уже собранной на Земле в виде живого вещества, отложений энергоносителей и других полезных ископаемых, является противоположным явлением, т.е. обеднением или даже разграблением потомков, а с точки зрения вечного — самоограблением человечества. Сегодня это вплотную подводит к будущей серьёзной экологической катастрофе на Земле, поскольку заводы и фабрики и, особенно, автомобильный транспорт создают сильные загрязнения в больших городах и на планете в целом. Таким образом, согласно С. А. Подолинскому, человеческая деятельность, связанная с использованием природных полезных ископаемых, может быть экономически и экологически оправданной только тогда, когда эти запасы используются с целью накопления энергии на земной поверхности и предотвращения её энтропии. Однако, мы наблюдаем прямо противоположную тенденцию экспоненциально возрастающего сжигания углеводородов при весьма вялом росте альтернативных источников энергии.

"Главной целью человечества в труде должно быть абсолютное увеличение энергетического бюджета". Что касается границы "наивыгоднейшего накопления энергии на Земле", то этой границей, по утверждению С. А. Подолинского, является "лишь абсолютное количество энергии, которое поступает от Солнца, и органических материалов, имеющих на Земле". Учёные утверждают, что львиная доля этой энергии должна принадлежать

дикой природе, а не человеку. Но сам поток световой энергии настолько большой, что при умелом его использовании хватит всем, если люди будут учиться у зелёных растений и других жителей Земли (кроме паразитов) бережно её потреблять, не возмущая и не загрязняя вредными выбросами окружающую среду. Да и народы пустынь демонстрируют нам много таких позитивных примеров (бушмены, бедуины). Если Кене и его единомышленники доказывали, что получаемый людьми прибавочный продукт порождается лишь землёй, то С. А. Подолинский пошёл значительно дальше, привлекая новые научные открытия. Он сделал свои выводы из фотосинтеза, благодаря которому и происходит прирост органического вещества на планете Земля, закону сохранения полной энергии и закону роста энтропии в замкнутых системах (второе начало термодинамики). Поэтому Подолинского можно считать основателем новой национальной научной школы физической экономики.

Разработки учёного существенно продвинули идеи его западных предшественников, а позже нашли продолжение в трудах соотечественников (В.И. Вернадский, О.Л. Чижевский и др.). Судьба С.А. Подолинского сложилась трагически. В своих письмах к Фридриху Энгельсу, Карлу Марксу и другим деятелям революционного движения (в частности – к Лаврову) он обращался с критикой идей классической политэкономии и ортодоксального коммунизма, выступал за создание украинской социал-демократической партии и против авторитаризма в Первом Интернационале. В отличие от Энгельса, который не понимал чрезвычайной важности применения новых достижений естественных наук в политэкономии и развития учения физиократов на новой основе, Карл Маркс в последние годы своей жизни благосклонно относился к идеям молодого учёного. После гибели своих сыновей и неурядиц с женой, отсутствия признания его научных и социалистических идей Сергей Подолинский тяжело заболел и после нескольких лет в ещё довольно молодом возрасте умер на руках у своей матери в Киеве.

Особенно важным продолжением идей физической экономики стала деятельность одного из основателей Украинской академии наук В. И. Вернадского (1863–1945), который своим ближайшим научным предшественником называл именно

С. А. Подолинского. Внедрив в научный оборот понятия живого вещества, биосферы и ноосферы, создав одну из новейших для XX века систему знаний, которая и сегодня не только не утратила, но даже получила новое звучание в свете развития водородной энергетики, В. И. Вернадский поднял украинскую и мировую науку на новый уровень. Он много сделал, чтобы выявить роль живого как одной из главных геологических сил, формирующих климат, указал на будущую роль человека в таких процессах и несколько наивно верил в его способность разумно управлять изменениями биосферы (концепция ноосферы в свете последующих событий, особенно последнего времени, заслуженно подвергается критике). Сегодня уже понятно, что такое влияние, если в нём преобладают эгоистические интересы олигархического капитала, скорее является деструктивным.

Сложность информационных и энергетических потоков биосферы значительно превосходит активность социума, поэтому люди вряд ли смогут что-то там «регулировать» в дикой природе – лучше бы просто не ломали и учились ценить и понимать её красоту. Человечество быстро прогрессирует в масштабах своей деятельности и особенно - многочисленности. Возможно даже, что это деструктивное влияние на нашу живую планету уже сейчас становится ощутимым. И тогда лишь идея ноосферы Вернадского сможет стать спасительной (но уже в новом смысле: прекращая дымить и полностью переходя на энергосберегающую возобновляемую водородную энергетику и электричество).

Существенным вкладом в развитие национальной школы физической экономии стали идеи уже современного украинского учёного, философа и правозащитника-шестидесятника Н.Д. Руденко. Им была создана оригинальная концепция, которую уместно назвать физической экономией Вселенной. Она выражает новое экономико-философское видение, охватывающее гуманитарные и естественнонаучные знания в целом. Философские идеи Руденко перекликаются с гуманистическими принципами выдающегося украинского писателя-фантаста, тоже шестидесятника, Олеса Бердника (см. его увлекательные книги «Звёздный корсар», «Сердце Вселенной» и другие). Начав с критики сталинизма в эпоху хрущёвской оттепели и проведя анализ политэкономии марксизма в сравнение с идеями физиок-

ратов, Николай Руденко также пришёл к выводу о необходимости взять за основу экономических принципов фундаментальные законы физики.

Он предложил простую формулу капитала, отличную от Марксовой:

$$K = E - F,$$

где  $K$  — капитал,  $E$  — энергия прогресса,  $F$  — количество энтропии. Строго говоря, величину  $F$  нужно рассматривать как энтропию, умноженную на некоторую температуру экономики, поскольку энергия и энтропия имеют разные единицы измерения. Если говорить не об абсолютных значениях этих величин, а о их малых приращениях, причём  $dF = T \cdot dS$ , где  $dS$  — прирост энтропии за счёт деятельности непродуктивного класса (промышленность, в особенности - военная, сфера управления — чрезмерная активность бюрократов порождает хаос), то эта формула представляется вполне правдоподобной. При этом спекулятивный капитал склонен оперировать энтропийными категориями (информация - деньги в битах и байтах), в то время как реальное производство оперирует джоулями и ваттами. Вспомним, например, популярный термин «нефтедоллар». Отметим также, что при известной температуре экономики пересчёт легко выполним и не принципиален. А вот наличие или отсутствие энергии Солнца (уголь, нефть, газ или свет) — другое дело.

Н.Д. Руденко также видоизменил таблицу Кене, разделив абсолютную прибавочную стоимость (энергию прогресса) на пять частей. Из них три должны оставаться непосредственным производителям энергии прогресса, т.е. сельскому хозяйству на оплату труда, возрождение земли и развитие животноводства. Остальные (две пятых) делятся поровну между промышленностью и сферой управления. Если последние воруют больше энергии прогресса, т.е. произведенного сельским хозяйством от фотосинтеза преобразованной энергии Солнца, то земля, государство и общество деградируют. При этом минеральные энергетические запасы вообще нежелательно использовать. Лучше их оставить потомкам, которые найдут им более разумное применение, а не отнимать у них. Понятно, что сегодняшнее состояние общества и его экономики мало напоминает эту идиллию, за что им и придётся расплачиваться в будущем, дыхание которого чувствуется уже сегодня.

## **Часть III. Зачем исследовать и колонизировать Венеру**

«Все это должно привести к сохранению в глубинах водородных соединений и, в том числе, – растворов водорода в металлах».  
(В.И. Вернадский)

### **1. Гидридные ядра Венеры и Земли и последствия глубинной водородной дегазации**

Внутреннее строение планет земной группы, главными из которых являются Земля и Венера, до сих пор вызывает дискуссии. Относительно Венеры на сегодня имеем лишь предположения и гипотезы. Их делают по аналогии с надёжно установленными для Земли элементами строения, содержащими: твёрдое ядро, вокруг которого имеется мощная жидкая оболочка (жидкое ядро), дальше идёт мантия, литосфера и земная кора. Над ними содержатся непосредственно доступные и значительно менее плотные гидросфера и атмосфера. Однако, непростой вопрос о том, из каких соединений химических элементов состоит ядро, и сегодня вызывает жаркую полемику.

Традиционная модель железо-никелевого ядра в последние десятилетия справедливо поддаётся критике со стороны сторонников теории гидридного ядра. В 70-х годах прошлого века молодой советский геолог В.Н. Ларин (см. [18, 20], а также интересный научно-популярный фильм «Гипотеза») предложил новую гипотезу строения земных недр. Согласно этой гипотезе, во время образования Земли (и, конечно, других планет) водород никуда не делся, поскольку именно преимущественно из него состояло вещество будущей Солнечной системы. В этом процессе образования металлического ядра планеты водород растворился в нём в значительных количествах, образовав под большими давлениями и температурами неустойчивые при нормальных условиях гидриды.

Как уже отмечалось, водород очень хорошо растворяется в металлах, особенно в таких как палладий, никель и много дру-

гих. Например, в одном объёме палладия растворяются сотни газовых объёмов водорода. Однако, гидрид – не просто раствор, как, например, воздух в воде. Это – химическое соединение. Поэтому, при образовании металлогидрида растворённый объём водорода, который прореагировал с металлами, оказывается ещё большим. Отсюда, когда гидрид в силу определённых причин (возможно, при *усилении потоков нейтрино*) распадается, образуя простой раствор водорода в металле, объём этой смеси двух элементов растёт. Тогда, согласно Ларину, если в металлогидридном ядре Земли по каким-то причинам происходит такой процесс, её центральная часть будет увеличиваться.

Исследованиями распространения сейсмических волн от землетрясений и мощных ядерных взрывов были установлены размеры жидкого земного ядра. В нём находится твёрдое ядро, которое является гидридным. Жидкое ядро - раствор водорода в металлах. Радиоактивные процессы в центре Земли (ядерный или даже термоядерный разогрев) вызывают постепенный распад гидридного ядра с выделением водорода и увеличением объёма среды. Поэтому, согласно гипотезы Ларина, Земля расширяется, а свободный водород, проникая из жидкого ядра дальше вверх, выходит в мантию. Потом он проходит сквозь земную кору в атмосферу.

В процессе своего движения к земной поверхности водород, реагируя с силикатами, образует силаны и воду, а реакции с углеродом дают метан (главная причина мощных метановых выбросов в глубоких шахтах, вследствие которых гибнет так много шахтёров во всём мире). Выделяется также много сероводорода. Силаны являются чрезвычайно взрывоопасными. В контакте с кислородом они горят, что может происходить в грунтах уже на глубинах в несколько метров, а также в пещерах и штольнях, т.е. и значительно глубже. Понятно, что эти процессы могут инициировать и горение метана, который сам на воздухе не возгорается. Выход воды приводит к росту океанов и накоплению большого количества водяных паров в атмосфере. Отметим, что водяной пар и метан – парниковые газы.

С момента своего образования примерно 4,5 миллиардов лет назад твёрдое гидридное ядро, распаваясь в эпохи активизации, постепенно увеличивало вокруг себя прослойку жидкости, а

значит – возрастал и объём нашей планеты. По оценкам В.Н. Ларина, с тех пор Земля нарастила свой объём примерно в три раза. Это означает, что её радиус вырос на 40 %, если глубинная водородная дегазация происходила в среднем постоянно. Однако, такие явления, скорее всего, происходят в геологической истории неравномерно вследствие причин космического характера. В эпохи усиления активизируются вулканы, растут глобальные разломы земной коры (атлантический, два тихоокеанских и индоокеанический, которые сходятся на Северном полюсе, отходя от Антарктиды), трещины от которых разрастаются в обе стороны. Удары больших астероидов, мощные солнечные процессы и другие внешние космические явления могут приводить к активизации распада гидридов и более интенсивному выходу водорода и его соединений на земную поверхность. Это сопровождается такими грозными явлениями как вулканы и траппы (разливы магмы из трещин на большие территории).

Важную роль водородной дегазации отводят учёные, которые увязывают с ней выбросы метана, влияющие на формирование озоновых дыр (водород, попавший в атмосферу, может действовать на озон и непосредственно). В частности, В.Л. Сывороткин [19] утверждает, что увеличение мощности ультрафиолетового солнечного излучения сквозь озоновые дыры даёт дополнительный разогрев океана и участков суши. Это приводит к катастрофическим процессам образования ураганов, изменяет океанические течения, приводит к размножению микроорганизмов, массовой гибели птиц и морских млекопитающих (выбросы на берег китов и дельфинов).

Опытным путём установлено, что геологический возраст дна мирового океана Земли составляет 300 млн. лет в то время, как возраст материков - миллиарды лет. Согласно теории расширения Земли, океаны постоянно растут (воды становится больше). Например, геологи утверждают, что озеро Байкал – растущий океан, а материки Южная Америка и Африка – удаляются друг от друга. Среди других последствий такого расширения можно назвать замедление земного вращения вследствие роста момента инерции планеты, уменьшение силы тяжести на её поверхности, образование высоких гор вследствие сминания земной коры при выравнивании поверхности (радиус земного шара растёт, а зна-

чит – кривизна его поверхности уменьшается, т.е. она становится более плоской). Следует отметить, что речь идёт о медленных геологических процессах. Так, например, расстояние между Южной Америкой и Африкой растёт на сантиметры в год, однако за сотни млн. это уже составит тысячи км. Поэтому, в эпоху динозавров континенты имели совершенно другой вид.

Скорость вращения Земли уменьшается тоже очень медленно и расширение – не единственная причина (влияют лунные и солнечные приливы и отливы). Однако, миллиарды и даже сотни миллионов лет назад сутки были короче, а замедление за последние сто-двести лет измерено астрономами совершенно точно и оно весьма незначительно (на 1,4 мс за 100 лет). С другой стороны, по коралловым отложениям возрастом 400-500 млн. лет установлено, что длительность земного года тогда составляла не 365,24 суток, а 400 суток из-за более быстрого вращения Земли, если исходить из того, что период земного вращения вокруг Солнца был примерно тем же. Поэтому, сутки в то время были на три часа меньше. Если исходить из более бурной вулканической активности и расширения Земли в прошлом и примерно такого же, как сейчас, более слабого влияния Луны на замедление вращения, то наблюдаемая динамика вполне вписывается в схему с гидридным расширением ядра. Правда, неучтённые выпадения на Землю метеоритов и даже астероидов и комет также могли внести свою поправку.

Теория металлогидридного ядра (водород-магний-железо) вместо металлического (железо-никель) и расширение нашей планеты находятся в прямом противоречии с общепринятой на сегодня в геологии теорией тектоники плит, согласно которой никакого расширения нет, а гигантские плиты плавают в океане магмы, ныряя или наползая одна на другую хаотически, то собираясь вместе (единый материк Пангея), то расходясь в разные стороны (современные материки). Какая из этих теорий имеет больше прав и что в действительности происходит – покажет время и новые исследования Земли, Венеры, Марса и других планет.

Важной составляющей теории гидридного ядра является идея о магнитной сепарации химических элементов (рис.48). В конце 50-х годов XX века известный астрофизик Фред Хойл

(Fred Hoyle) высказал гипотезу о том, что в период после взрыва сверхновой (примерно 5 млрд. лет тому назад), когда начала формироваться Солнечная система, ионизированная плазма в её центральной части на расстояниях от центра в несколько астрономических единиц сформировала мощное магнитное поле. Всё вещество тогда вращалось как единое целое с примерно одинаковой угловой скоростью, поскольку было ещё преимущественно в состоянии плазмы.

Эта идея некоторое время не имела развития. Однако ещё молодой тогда геолог В.Н. Ларин пошёл дальше и учёл, что потенциал ионизации различных химических элементов отличается. Он высказал предположение, что, поскольку движение заряженных частиц в плоскости протопланетного диска поперёк магнитных линий (рис.48) значительно усложняется силой Лоренца, то на его периферию попадали, главным образом, водород и гелий, которые и образовали планеты-гиганты (возможно, что тоже с относительно небольшими гидридными ядрами). Но и в планетах земной группы происходила магнитная сепарация. Платина, золото, другие металлы и даже железо, также имеющие довольно большой потенциал ионизации, легче достигали радиусов орбит Марса и будущего пояса астероидов. Поэтому их там

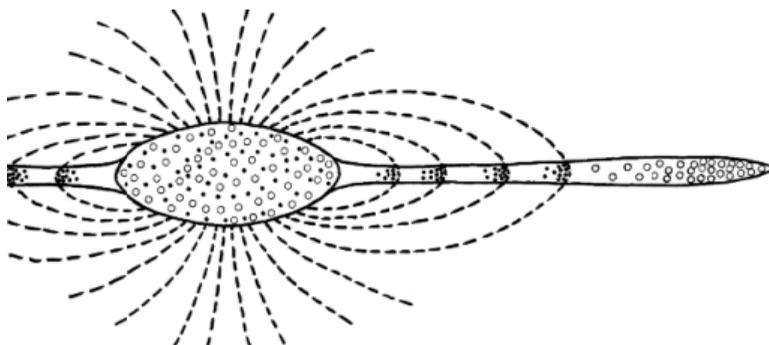


Рис.48. Идея магнитной сепарации заряженных частиц при образовании протопланетного диска. Кружки – нейтральные химические элементы, точки – ионизированные химические элементы. Пунктир – магнитное поле Протосолнца [18].

Табл.15. Состав вещества в зоне образования Земли (из книги В.Н.Ларина «Наша Земля» [18]). Её ядро является не столько железным, сколько кремниймагниевым, а также содержит много водорода – гидридное распадающееся ядро.

Элемент	Атомн. %	Вес. %
Кремний	19,5	45
Магний	15,5	31
Железо	2,5	12
Кальций	0,9	3
Алюминий	1,0	2
Натрий	0,7	1,5
<i>Кислород</i>	<i>0,6</i>	<i>1,0</i>
Углерод	0,03–0,3	0,03–0,3
Сера	0,01–0,1	0,03–0,3
Азот	Менее 0,01	Менее 0,01
<i>Водород</i>	<i>59</i>	<i>4,5</i>

оказалось значительно больше, чем на Земле и Венере. На это указывает состав метеоритов, выпавших на Землю. То же самое можно утверждать и об углероде и его компактной структуре – алмазе. Они очень часто встречаются в метеоритах из пояса астероидов. Недавно в новостях прошло сообщение, что Россия рассекретила своё месторождение алмазов метеоритного происхождения, открытое ещё во времена СССР. Их прочность в несколько раз больше алмазов земного происхождения, которые находят в кимберлитовых трубках. Выдвинутую В.Н. Лариным гипотезу о магнитной сепарации тогда поддержал известный астрофизик Виктор Шкловский.

Идею традиционной науки о том, что водород был «выдут» солнечным ветром и его в ядрах планет земной группы вообще нет, не выдерживает критики. Ведь солнечный ветер также является преимущественно потоком протонов, т.е. ядер водорода, поэтому он не мог сам себя выдуть на периферию и, конечно, до сих пор может присутствовать в составе планет земной группы, причём у тектонически «живых» планет пока преимущественно в ядре (мнение автора этой книги). Ведь именно там под дейст-

вием тяжести концентрируются самые массивные элементы – металлы, а они с удовольствием и в огромных количествах поглощают и консервируют водород, образуя гидриды под давлением в миллионы атмосфер. Поскольку там существуют очень высокие давления и температуры, то образование устойчивых гидридов весьма вероятно. Таким образом, молодая планета земной группы на первом этапе образует твёрдое гидридное ядро, которое постепенно становится жидким, распадаясь в периоды разогревов с выделениями водорода (при этом идёт расширение и температура падает). Периферийная (жидкая) часть ядра содержит растворённый водород, который постепенно выходит через мантию и кору на поверхность, забирая с собой по дороге кислород, углерод, сероводород, кремний и другие элементы. При этом, если планета вращается довольно быстро, она будет иметь заметное магнитное поле. Отсутствие такого поля у значительно меньшего, чем Земля, Марса свидетельствует о его исчезновении в далёком прошлом. Очевидно, его твёрдое ядро – источник водорода – распалось раньше земного, поэтому исчез и поток протонов к поверхности планеты. На это указывает и отсутствие вулканизма на поверхности Марса. Напомним, что частота вращения Марся является такой же, как и у Земли.

А вот Венера имеет значительно больший вулканизм, чем даже у Земли. В отличие от Марса, она - весьма «живая» планета с интенсивной водородной дегазацией и ещё активным гидридным ядром. Однако, частота её вращения, как мы знаем, незначительна и поэтому магнитное поле оказывается слабым. Если бы планету удалось раскрутить, такое поле появилось бы. Раскручивание можно постепенно осуществить в будущем, если в процессе переработки атмосферного углекислого газа в кислород и углерод заводами, размещёнными на экваторе, выбрасывать его с реактивной скоростью вдоль экватора. Ведь атмосфера Венеры составляет свыше 10% от массы планеты, поэтому эффект раскручивания может быть вполне ощутимым.

К большому сожалению, в рамках этой книги мы не можем более детально обсуждать вопросы, связанные с теорией гидридного ядра. Однако, заинтересовавшийся читатель сможет найти это в книге [18], или более популярно в [20]. Можно заметить, что с точки зрения физики именно эта теория позволяет свести в

одно целое большое количество разрозненных фактов о развитии нашей Земли и Солнечной системы в целом. О влиянии на земную природу и последствия водородной дегазации можно прочитать в интересной книге Е.В. Сывороткина [19], где также объясняются многие открытые относительно недавно научные факты. Таким образом, для развития науки и понимания природы исследования Венеры чрезвычайно важны, поскольку они позволят расширить наши знания о далёком прошлом Земли и ближнего космоса, а значит - заглянуть в будущее. Можно также отметить, что есть надежда обнаружить в сероводородных облаках на больших высотах простейшие формы жизни.

## **2. Проблема определения геологического возраста Венеры путём изучения её вулканизма и внутреннего строения**

«Якби ви вчилися так, як треба,  
То й мудрість би була своя.  
А то залізете на небо, і ми – не ми, і я – не я»  
(Т.Г. Шевченко)

После информации от автоматических космических аппаратов об условиях на Венере учёные были очень удивлены и даже разочарованы. До этого в своих предсказаниях они исходили из близости размеров Земли и Венеры, их расстояния до Солнца и высказывали надежды, что условия на поверхности тоже должны быть похожими. Отсюда делался вывод о возможности существования жизни на Венере. Однако, условия там оказались больше похожими на ад и это очень удивило. Ведь, казалось бы, планеты возникли одновременно и должны были развиваться в одном направлении. Сегодня всему причиной считают парниковый эффект, что в будущем может ожидать и нашу Землю.

Однако, хронологический возраст планеты из-за влияния более близкого Солнца может и не соответствовать геологическому, о чём свидетельствует интенсивный вулканизм Венеры (наиболее активный среди всех небесных тел Солнечной системы). Вполне возможно, что наша соседка, так внешне похожая на Землю, ещё пребывает в состоянии Архейской эры (первые

миллиарды лет после образования планеты Земля). Ведь характер вулканизма и состав атмосферы сходны с земными в те далёкие времена. Развитие Венеры человечество могло бы ускорить искусственно, создав ещё одну чудесную планету для существования жизни методами, о которых мы уже говорили и рассмотрение которых ещё продолжим дальше.

Существует ещё одна гипотетическая возможность для отставания развития Венеры от земного. Дело в том, что планеты Солнечной системы могли образоваться не одновременно, а отпочковываться от массы Протосолнца и постепенно удаляться от него под действием светового давления. Этот медленный процесс может продолжаться и сегодня, что мы ещё обсудим в математическом приложении (выходит отдельной книгой).

Понятно, что ответы на такие важные вопросы можно дать лишь после пилотируемых исследований и создания на Венере не только аэростатных баз, но и станций непосредственно на её поверхности. Нужно очень хорошо изучить характер сейсмических волн (природных и искусственно создаваемых), выделений газов из геологических разломов и особенности последних, активность вулканов и многое другое. Такие работы позволят надёжно изучить внутреннее строение Венеры. Понятно, что для этого нужно будет жить и много работать на этой планете, а не только посылать туда роботов.

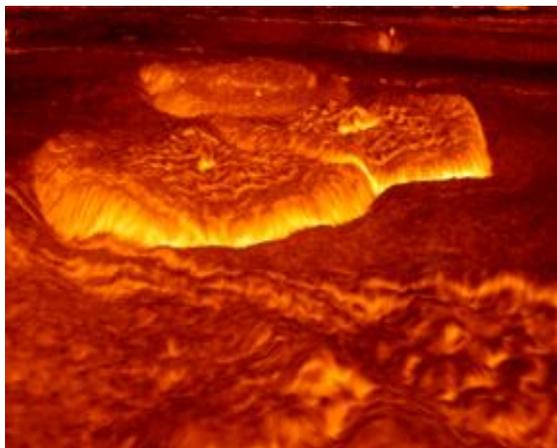


Рис.49. Жерло одного из вулканов Венеры.

Из анализа изображений, полученных автоматическими межпланетными станциями, определились основные черты геологии планеты. Было установлено, что в зоне съёмки наиболее часто встречаются равнины нескольких видов, образованные наслаиваниями вулканических лав. Морфология лавовых потоков в сочетании с результатами определения химического состава в местах посадки космических аппаратов серий «Венера» — «Вега» свидетельствует, что это — базальтовые лавы, широко распространённые на Земле, Луне, и, наверно, на Меркурии и Марсе. В пределах этих равнин наблюдаются специфические кольцевые вулканотектонические структуры с поперечником в сотни километров, названные «венцами». Среди равнин расположены «острова» и «континенты» сильно пересечённой местности, не типичной для других планет. Структурный рисунок такой поверхности, обусловленный пересечениями многочисленных тектонических разломов, напоминает вид черепичной кровли, поэтому местность этого типа получила название «тессера», что по гречески означает «черепица».

Анализ данных «Венеры-15,16» привёл к выводу о том, что в пределах зоны съёмки нет признаков «тектоники плит» — принятой на сегодня для Земли глобальной организации геологической активности, характеризующейся подразделением верхней твёрдой оболочки — литосферы — на несколько больших плит, которые передвигаются горизонтально одна относительно другой. Главной движущей силой вулканических тектонических процессов на Венере являются вертикальные (восходящие и внизходящие) перемещения вещества недр планеты за счёт тепловых неоднородностей — так называемых «горячих пятен». Такие пятна известны и в геологии, т.е. для Земли.

Результаты съёмки «Венеры-15,16» привели к открытию ключевых элементов венерологии. Впервые в этой области на смену догадкам пришло твердое знание. Было установлено, что эндогенные геологические процессы — базальтовый вулканизм и разломная тектоника — преобладают над так называемыми экзогенными процессами. Пока не выявлено никаких следов деятельности жидкой воды на планете. Это обстоятельство и некоторые особенности распределения ударных кратеров по их размерам показали, что условия, близкие современным, были на

Венере в течение всего отслеженного в глубь промежутка времени геологической истории планеты.

**Горные породы Венеры.** Согласно данным, полученным межпланетными станциями, которые осуществили посадку на Венере, породы по своему составу близки земным базальтам (о чём, в частности, свидетельствуют исследования калий-урановой систематики) или их глубинным аналогам — так называемым габро. В этом можно убедиться из Табл.16.

Табл.16. Химический состав пород поверхности Венеры (первая колонка) в сравнении с двумя типами земных базальтов (по Волкову и Ходаковскому [2]). Вторая колонка - данные станции «Венера-13»; третья колонка - лейцитовый базальт (Земля); четвертая колонка - данные станции «Венера-14»; пятая колонка: толейтовый базальт (Земля). Цифры означают проценты:

SiO <sub>2</sub>	45,1 ± 3,0	46,18	48,7 ± 3,6	50,6
TiO <sub>2</sub>	1,59 ± 0,45	2,13	1,25 ± 0,41	1,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,8 ± 3,0	12,74	17,9 ± 2,6	16,3
FeO	9,3 ± 2,2	9,86	8,8 ± 1,8	8,8
MnO	0,2 ± 0,1	0,19	0,16 ± 0,08	0,2
MgO	11,4 ± 6,2	8,36	8,1 ± 3,3	8,5
CaO	7,1 ± 0,96	8,16	10,3 ± 1,2	12,0
Na <sub>2</sub> O	2 ± 0,5	2,36	2,4 ± 0,4	2,4
K <sub>2</sub> O	4 ± 0,63	6,18	0,2 ± 0,07	0,1
S	0,65 ± 0,40	0,036	0,35 ± 0,28	0,07 ± 0,01
Cl	< 0,3	-	< 0,4	0,01

Повышенное содержание серы в венерианском грунте объясняется его взаимодействием с атмосферой, где сера является специфическим элементом. Среди венерианских пород встречаются разновидности, состоящие из мелкого материала, распушенного грунтом тёмного цвета, а также тонкоплиточными слоями. В отдельных случаях анализы показали, что венерианские породы аналогичны земным щелочным базальтоидам или сиенитам.



Рис.50. Вертикальна структура атмосфери Венери, согласно исследований, проведенных автоматическими станциями [3].

Расчёт минерального состава поверхности Венери, согласно таблице, указывает, что в районе посадки «Вене-

ры-13» преобладают оливин, диопсид, анортит и ортоклаз (в сумме 83 %), а в районе посадки «Венеры-14» характерны диопсид, гиперстен, анортит, альбит (в сумме 87 %). Расчётная плотность грунта в местах посадки станций «Венера-13 и 14» составляет соответственно 1,4-1,5 г/см<sup>3</sup> и 1,15-1,2 г/см<sup>3</sup>. Данные радиолокации дают другую цифру, в среднем для венерианской поверхности — 2,2 г/см<sup>3</sup>, а исследования «Венеры-10» дали ещё большее значение плотности — 2,7-2,9 г/см<sup>3</sup>. Удельное электрическое сопротивление грунта планеты, по данным прямых измерений в месте привенеривания, составляет 73-89 Ом·м. Все исследованные типы поверхности Венеры состоят из магматических горных пород только основного состава.

### **3. Исследования озонового слоя и других особенностей венерианской атмосферы**

«Мы спешили, улетали в неустроенные дали,  
И бесстрашно проникали и в пространство, и в века.  
Всё, что можно, изучили, что нельзя – предугадали,  
Только сердце – наше сердце – не постигли мы пока...»  
(А. Дольский, «Прощай, XX-й век»)

Результаты исследований автоматическими межпланетными станциями указывают на существование слабого озонового слоя на высотах примерно 100 км. Это очень обнадеживающая информация: малое содержание кислорода в атмосфере все же не означает, что защита от губительного ультрафиолета отсутствует. Ведь в сочетании с мощной атмосферой (рис.50) поверхность планеты, хотя и не так надёжно, как на Земле (вследствие отсутствия магнитного поля), но всё же прикрыта от космических излучений и, в первую очередь, - от Солнца. Существование слабого озонового экрана объясняют расщеплением углекислого газа солнечным ветром и жёсткими излучениями на больших высотах с последующим образованием молекул озона.

Исследования, проведенные автоматическими зондами, следует считать предварительными, поскольку они не могут дать полной картины. Лишь пилотируемые полёты с использованием постоянных станций позволят лучше разобраться в сложных процессах, которые происходят в венерианской атмосфере (грозы, ветры, изменения давления и температуры, состава атмосферы в разное время и на разных высотах). Однако, собранные автоматами сведения являются очень ценными для будущих полётов, *если прекратятся войны на Земле*. Так, например, видимость в облаках ниже 60 км, образующих как бы сплошной полог, всё же составляет примерно 1 км. Поэтому, даже здесь можно будет визуально контролировать операции с двумя аэростатами (например, их стыковку).

### **4. Проблема снижения температур и давлений в атмосфере Венеры. Создание заводов-автоматов для переработки углекислоты**

Колонизацию Венеры человечеству можно и нужно начинать уже сегодня, поскольку опыт многих поколений учит, что при любых серьёзных проблемах самой страшной является потеря времени. Эта книга даёт совет, как сделать хотя и очень несмелый, но вполне конкретный шаг в этом направлении. Пилотируемые полёты на Луну доказали реальную возможность достижения ближайших космических тел существующими на сегодня средствами. Пилотируемый полёт до ближайшей планеты является лишь технической и экономической проблемой. Поэтому, нужна политическая воля лидеров ведущих стран и их консолидация. И, как говорится, дорогу осилит идущий.

Для оптимизации давлений и температур на Венере необходимо в первой точке Лагранжа (см. Предисловие, рис.3) доставить и распылить тёмное порошкообразное вещество. Это уменьшит количество энергии Солнца, которое будет попадать на планету, температура атмосферы и давление значительно упадут и вся её углекислота выпадет на поверхность в виде сухого льда для переработки. Благодаря этому, действие парникового эффекта прекратится. Интересно, что скорость вращения Венеры немного увеличится. Ведь в соответствии с законом сохранения момента импульса уменьшение объёма той же массы приводит к росту её частоты вращения: уменьшается момент инерции – возрастает частота вращения. Поскольку атмосфера планеты очень мощная (свыше 10% от массы всей планеты), эффект будет вполне заметным. Расчёт даёт десятки процентов, что может немного увеличить магнитное поле Венеры.

Переработка углекислоты – следующий важный этап колонизации планеты. Высвобождение кислорода в атмосферу позволит приблизить её состав к земному. Ведь азота в ней даже больше, чем на Земле, и уменьшение температуры на него никак не повлияет (тройная точка значительно ниже, чем для углекислоты). Начало переработки углекислого газа нужно будет начинать уже во время создания первой мощной батискафной базы, поскольку потребность во всё возрастающем количестве кислорода и жидкого водорода будет всегда. И тогда окажется, что количества воды на Венере не такие уж и незначительные для поддержания жизни, учитывая наличие мощной атмосферы и глубинную водородную дегазацию. Уменьшение температуры

тоже приведёт к её конденсации с образованием водных бассейнов. При этом значительный вулканизм планеты тоже будет способствовать пополнению запасов воды на поверхности.

Сжигание больших объёмов водорода вследствие человеческой деятельности – ещё один источник воды. И тогда условия постепенно (пройдут многие сотни лет) станут более благоприятными для жизни. Это произойдёт сначала в небольших поселениях под куполами, где можно поддерживать условия земной атмосферы, а потом эти объёмы будут постепенно возрастать.

## **5. Батискафные исследования условий на поверхности и сейсмических процессов под ней**

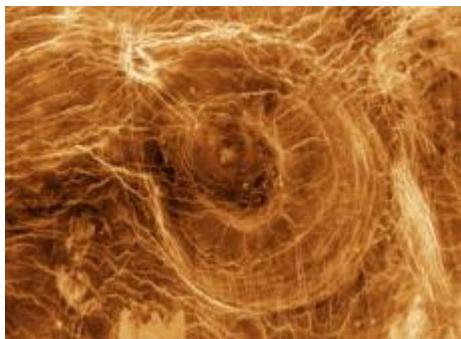


Рис.51. Арахноиды (от греческого слова «паукообразные») – своеобразные лавовые образования, на сегодня обнаружены лишь на Венере в 1983 году. Всего известно 256 арахноидов.

Посетив Луну, американские астронавты установили на её поверхности сейсмодатчики. Такие же данные чрезвычайно важно знать и о Венере. Конечно, ценные сведения можно получить и с помощью автоматических разведчиков (их общее время работы на поверхности составило всего несколько часов). Однако работа эта комплексная, требует измерений во многих местах, причём длительными периодами. Поэтому, не обойтись без охлаждаемых батискафных баз с людьми. Нужны также глубинные буровые работы. Кстати сказать, на определённых глубинах высокие давления и температуры возможно легче будет регулировать, создавая соответствующие поселения.

Как эффективный хладагент и энергоисточник водород в таких условиях подходит больше всего, хотя будет сложно обой-

тись на первых порах и без ядерных реакторов. Очень важной является также проблема создания скафандра, который бы выдерживал высокие давления, температуру и агрессивную кислотную среду, иначе невозможно будет проводить многочисленные рутинные монтажные работы и сбор образцов на различных территориях с использованием венероходов. Отметим, что такого скафандра для Венеры ещё пока нет.

Изучение реального внутреннего строения Венеры и Марса опытным путём будет чрезвычайно важным шагом. Оно позволит сравнить близкие планеты и Землю не только, так сказать, снаружи, но и получить новые сведения, которые позволят лучше проверить справедливость гидридной теории ядра и выводы из неё. Анализ состава вулканических выбросов газов из кратеров и разломов тоже позволит получить новые важные опытные факты.

## **6. Стратегическая цель человечества – колонизация Венеры и создание условий, похожих на земные. Проблема магнитного поля**

«Самая страшная из всех потерь - потеря времени»  
(Григорий Сковорода)



Рис.52. Поверхность Венеры. Изображение получено «Венерой-13» 1 марта 1982 года восточнее Области Феба. Аппарат работал 2 часа 7 мин, после чего вышел из строя, не выдержав высоких давлений и температур.

Важную роль для существования живых организмов играет магнитное поле планеты. Без него, учитывая ещё большую близость Венеры к Солнцу, жизнедеятельность на поверхности достаточно сложных организмов просто невысказима вследствие смертоносной радиации. Конечно, озоновый слой, который значительно укрепитя вследствие появления кислородной оболочки, начнёт выполнять свою функцию, защищая планету от жёсткого ультрафиолета. Однако, этого будет мало.

Для создания магнитного поля и более комфортного существования людей планету нужно будет раскрутить. Как уже упоминалось, втягивание углекислого газа на мощных перерабатывающих заводах, построенных на экваторе, и выброс кислорода с большой скоростью частично решало бы эту проблему. Но такой масштаб деятельности на первых этапах будет нелегко реализовать. Значительно «проще» проложить вдоль экватора сверхпроводящий кабель, для которого температура жидкого водорода будет достаточной, чтобы возникла сверхпроводимость. Интересно, что в 2001 году японскими учёными был открыт недорогой и технически удобный сплав диборид магния с температурой сверхпроводящего перехода 39 К (напомним, что жидкий водород при нормальных условиях имеет 20,4 К). Поэтому, теперь дорогой жидкий гелий для создания сверхпроводимости не нужен. В США и России гибридные водородные линии уже проектируют для транспортировки без потерь электроэнергии и, одновременно, водорода, а также для работы мощных сверхпроводящих магнитов ускорителей элементарных частиц. Можно отметить, что сегодня в мире вырабатывают сотни тысяч тонн жидкого водорода в год, причём эта цифра с каждым годом стремительно растёт. В мире, но не в странах СНГ (бывший СССР, наоборот, в этом плане был передовой державой: и сверхтяжёлые ракеты летали на водороде, и самолёты, и автомобили ездили, и наука активно его использовала в своих исследованиях).

Оценим, какой ток будет нужен для магнитного поля, сходного с земным ( $5 \cdot 10^{-5}$  Тл). Для поля витка с током в центре имеем:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R},$$

где  $R$  – радиус витка (в нашем случае это – радиус Венеры),  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Г/м,  $\mu$  – магнитная проницаемость, которая для воздуха примерно равна единице. Однако, в веществе, особенно ферромагнетиках (железо, никель, кобальт), она может возрасти во много раз. Отсюда, оценка необходимой силы тока (в амперах):

$$I = \frac{2RB}{\mu\mu_0} \approx \frac{10^8}{\mu}.$$

Таким образом, нужны будут токи в десятки и сотни тысяч ампер, если имеем один виток. Сверхпроводящий кабель такие токи вполне может обеспечить. Однако, без жидкого водорода, который даст сверхпроводимость диборида магния, реализовать такой масштабный проект будет практически невозможно.

Можно также отметить, что магнитное поле растёт пропорционально числу витков, но сначала трудно будет проложить больше одного витка на такой большой длине. Проще взять более толстый сверхпроводящий кабель. Задача значительно упрощается тем, что на Венере нет океанов, как на Земле (возможно и здесь в будущем придётся делать что-нибудь подобное, поскольку магнитное поле Земли будет ослабевать). Сначала достаточно будет ток разогнать, а дальше просто доливать жидкий водород в магистраль в достаточном количестве.

Отметим, что на первых этапах нужные защитные магнитные поля можно будет создавать лишь вокруг поселений и даже небольших экосистем. К тому же, такие локальные поля на Венере и так уже существуют. Вопрос только в том, насколько они устойчивы. Совместно с озоновым слоем их действия будет вполне достаточно для существования живых организмов (растительный и животный мир).

## ВЫВОДЫ

«Чтоб не часы показывали время,  
А чтобы время честно двигало часы»  
(Владимир Маяковский)

Если на нашей планете всё будет продолжаться так, как происходит сейчас, то, согласно предостережений климатологов, условия на Земле скоро будут напоминать те, которые наблюдаются на Венере. С другой стороны, в будущем человечество смогло бы сделать из Венеры ещё одну Землю, однако для этого нужно начинать работать уже прямо сейчас, чтобы успеть до катастрофы и, по выражению А. Экзюпери, не дать баобабам разорвать нашу планету на куски.

Если всё будет как сейчас, атмосфера Земли перегреется до сотен градусов Цельсия, после чего океаны испарятся. В этом убеждён учёный Джеймс Хансен, который высказал эту мысль в книге «Бури будущего». И хотя его коллеги сначала не соглашались, однако сейчас эта точка зрения многими уже признаётся вполне вероятной.

Процесс перехода Земли в состояние нынешней Венеры ускоряют растущие объёмы добычи и переработки нефти, газа, углей, уранового топлива, поскольку это увеличивает количество парниковых газов и тепловых выбросов в атмосферу. Именно такие влияния вместе с ростом городов провоцируют рост температуры, что приводит к уничтожению дикой природы и опустыниванию. По оценкам учёных, сейчас каждый год свыше 100 тыс. км<sup>2</sup> цветущих территорий Земли превращаются в пустыни вследствие высыхания и вырубки лесов. В будущем вокруг нашей планеты неизбежно образуется мощный слой парниковых газов, который будет стимулировать всё более быстрый её разогрев, что и приведёт к катастрофическим последствиям. Ведь исчезновение растительности уменьшит регуляторные возможности биосферы поглощать CO<sub>2</sub> и другие парниковые газы, а также ослаблять действие остальных антропогенных факторов загрязнения окружающей среды.

Возможно, что Венера когда-то уже пережила глобальное потепление (если выходила из состояния земной Архейской

эры), а сейчас мы на ней не видим океанов, атмосфера почти полностью состоит из углекислого газа, а облака – из концентрированной серной кислоты. Поэтому так важно сохранить жизнь на Земле и изучать Венеру, чтобы и там она расцвела, пусть даже и через тысячи лет. Такая масштабная и благородная для человечества цель может стать настоящим спасением. Ведь пока Солнце поглотит планеты земной группы из-за своего расширения, как нас убеждают астрофизики, пройдет ещё не одна сотня миллионов лет (если эта модель вообще сработает).



Рис.53. Начало трансформации людьми Земли в Венеру возможно уже началось.

В связи с постепенным истощением запасов невозобновляемых углеводородных источников энергии, которые накапливались в течение многих миллионов лет, сегодня остро стоит проблема развития и, в некоторой мере, возвращения к использованию энергии ветра, солнечной радиации, биотоплив и особенно - водорода. Их эффективное применение требует значительных промышленных мощностей и начальных капиталовложений, а также - не в последнюю очередь – наукоёмких технологий и высокого уровня культуры.

Квалифицированная работа с водородными энергосберегающими комплексами сходна с наукоёмкими ракетными технологиями. Однако, если речь идёт о маломощных установках небольших хозяйств, то здесь вполне допустимы упрощения конструкций, использование недорогих материалов, но при условии соблюдения требований безопасности. В условиях перехода к энергосбережению альтернативных источников энергии (солнце, ветер, реки, подземное тепло и т.п.) оказывается вполне достаточно, чтобы удовлетворить почти все потребности, включая

не только вопросы освещения и питания аппаратуры, но транспортные, охлаждения и отопления помещений. Развитие водородной энергетики на Земле и в космосе станет в будущем универсальным, что обеспечит людям выживание на нашей планете и, без сомнения, на Венере и Марсе.

Природоохранная деятельность, желание развивать чистую энергетику, стремление в небо (астрономия, сверхлёгкая авиация, моделирование ракет и других летательных аппаратов) без преувеличения выводит человека на новый духовный уровень, реально оберегает окружающую среду, позволяет избегать многих пагубных общественных явлений, поскольку делает его благороднее, чище, умнее и добрее.

Современные последователи школы физиократов утверждают, что промышленное производство осуществляет лишь обработку природных материалов для создания в них потребительской стоимости в то время, как сельское хозяйство принципиально использует возобновляемую «энергию прогресса» (прямую термоядерную энергию Солнца). В то же время, стоимость продуктов на рынке определяется средним временем производителя средней квалификации на единицу произведенного продукта. Поэтому, труд крестьян в капиталистической модели оценивается по тем же критериям, что и в промышленности, а также в сфере услуг (куда можно отнести и управление). Однако, на деле постоянно выходит иначе: государство или собственник под предлогом развития отбирает почти всё, оставляя лишь необходимое для воспроизводства земли и человеческого потенциала, а иногда - и этого не оставляет, поскольку людям и природе приходится буквально выживать после всевозможных поборов и конфискации.

Отечественный учёный, писатель и философ Н.Д. Руденко писал, что государство будет устойчиво расти и укрепляться лишь тогда, когда труд крестьян будет свободным, т.е. когда они будут иметь реальную возможность себя обеспечивать и продавать на рынке результаты своего труда по адекватной цене. Если же продукты питания ничего не будут стоить по сравнению с промышленными изделиями или «информационными услугами высокой квалификации», то государство постепенно придёт в упадок. То же можно сказать и относительно продук-

тов духовного потребления, которые производятся в сферах культуры, науки и образования – их тоже можно в ещё большей мере назвать энергией прогресса, которую человек накапливает от Солнца.

В завершение книги можно без всякого преувеличения констатировать, что индикатором зрелости любого общества, его способности выживать и развиваться является степень внедрения альтернативных источников энергии и водорода как их аккумулятора, уровень желания людей учиться использовать эту энергию в своей жизни. А сколько радости и пользы приносит человеку независимый сельскохозяйственный труд, приводящий к накоплению и продуктов питания, топлива и строительных материалов? И пусть подземные запасы углеводородов остаются потомкам для построения жилищ и ракетопланов, выращивания садов и лесов на других планетах.

Водород – наиболее экологически чистый источник энергии для всего живого и его можно производить практически из всего, если есть солнечный свет или другая энергия. В этом нам помогают микроскопические бактерии и другие живые организмы. Более того, под землёй существуют значительные запасы водорода как чистого, так и в соединениях. Об этом свидетельствуют водородосодержащие выбросы вулканических газов и другие природные явления, причём не только на Земле, но и на близких планетах. Большие планеты юпитеровой группы вообще состоят преимущественно из водорода. Но, конечно, среди существующих планет, которые мы обсуждали в этой книге, главными и самыми важными для человечества в ближайшем будущем будут Венера и Марс.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Левантовский В.И. Механика космического полёта в элементарном изложении. Москва: Наука, 1980, 511 с.
2. Википедия, Интернет.
3. Корсунь А.О. и др. Астрономічний енциклопедичний словник (під загальною редакцією І.А.Климишина і А.О.Корсунь). Головна астр. Обсерваторія НАНУ, Львівський національний університет ім. Івана Франка, 2003, 550 с.
4. Глинка Н.Л. Общая химия. Ленинград: Химия, 1977, 718 с.
5. Руденко М.Д. Енергія прогресу (нариси з фізичної економії). Тернопіль: Джура, 2004, 357 с.
6. Бердоносков С.С. Водород. В кн. Физическая энциклопедия. Москва: Советская энциклопедия, т.1, 1988, 704 с.
7. Маленков Г.Г. Вода. В кн. Физическая энциклопедия. Москва: Советская энциклопедия, т.1, 1988, 704 с.
8. Зельвенский Я.Д. Водород. В кн. Химическая энциклопедия. Москва: Советская энциклопедия, т.1, 1988, 623 с.
9. Маленков Г.Г., Яковлев С.В., Гладков В.А. Вода. В кн. Химическая энциклопедия. Москва: Советская энциклопедия, т.1, 1988, 623 с.
10. Легасов В.А. Водородная энергетика. В кн. Химическая энциклопедия. Москва: Советская энциклопедия, т.1, 1988, 623 с.
11. Жолонко Н.Н. Диффузионная модель образования плато в теплопроводности слабого твёрдого раствора водорода с примесью неона. Черкассы: Бизнес-стиль, 2012, 58 с. (см. на сайте [www.twigrx.com](http://www.twigrx.com) в разделе Физика).
12. Подгорный А.Н., Варшавский И.Л., Приймак А.И. Водород и энергетика. Киев: Наукова думка, 1984, 144 с.
13. Морев А.И., Ерохов В.И., Бекетов Б.А. и др. Газобаллонные автомобили. Справочник. Москва: Транспорт, 1992, 175 с.
14. Зубков Б.Н., Люлько В.Н. Альтернативные топлива и безопасность полётов. Москва: Транспорт, 1992, 64 с.
15. Веркин Б.И. и др. Криогенная техника. Киев: Наукова думка, 1985, 180 с.
16. Манжос Ю.А., Вестнберг В.В., Якушев Л.Н. Водномоторный спорт. Москва: ДОСААФ, 1985, 303 с.

17. Кондратюк Ю. Завоевание межпланетных пространств. Новосибирск, 1929 г. , 69 с.
18. Ларин В.Н. Наша Земля. Москва: Ангар, 2005, 242 с.
19. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. Москва: Геоинформцентр, 2002, 250 с.
20. Никонов А. Верхом на бомбе. Интернет-издание, 2008, 152 с.
21. Жолонко М.М. Альтернативні джерела енергії: сонце, вітер, водень. Черкаси: Бізнес-стиль, 2013, 212 с.
22. Жолонко М.М. Рухи небесних тіл та їх зустрічі (в 2-х част). Черкаси: Бізнес-стиль, 2012, 258 с.
23. Балк М.Б. Механика космического полёта. Москва: Наука, 1965, 343 с.
24. Walker J. Home Planet for Windows (<http://www.fourmilab.ch/>).
25. Астрономический календарь. Постоянная часть. Под ред. П.И. Бакулина. Москва: Физматгиз, 1962, 771 с.
26. О. Раппопорт. Траскторія долі (про Кондратюка). Інтернет-видання (<http://www.pseudology.org/Rapport/Kondratuk/03>).
27. Дигонский С.В., Тен В.В. Неизвестный водород (роль водорода в полиморфизме твёрдых веществ, процессах твёрдофазного восстановления оксидов и спекания порошков). Санкт-Петербург: Наука, 2006, 235 с.
28. А.Н.Пономарёв. Пилотируемые космические корабли. Москва: Воениздат, 1968, 224 с.
29. В.П. Лукашевич, И.Б. Афанасьев. Космические крылья. Москва: Лента странствий, 2009, 496 с.
30. В.И.Григорьев, Г.Я.Мякишев. Силы в природе. Москва: Наука, 1978, 415 с.
31. Интернет-ресурс <http://www.vodorod-na-avto.com>.
32. Л.М. Якименко, И.Д. Модылевская, З.А. Ткачек. Электролиз воды. Москва: Химия, 1970, 264 с.
33. Интернет-ресурс <http://www.buran.ru>.
34. Э.Э. Шпильрайн, С.П. Малышенко, Г.Г. Кулешов, под.ред. В.А. Легасова. Введение в водородную энергетику. Москва: Энергоатомиздат, 1984, 264 с.
35. Н.М. Мхитарян. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы. Киев: Наукова думка, 1999, 315 с.

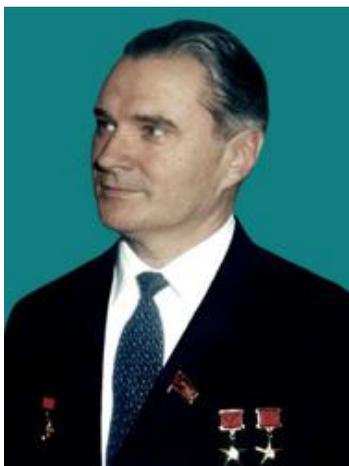
## Приложения

«Да, были люди в наше время,  
Не то, что нынешнее племя:  
Богатыри - не вы!»  
(М.Ю. Лермонтов, «Бородино»)

В приложениях повествуется о «Буране» и его американских и советских предшественниках (многоцелевые космические ракетопланы). Но в космос такой самолёт сам не выйдет, поэтому уделено внимание и носителям, которые выводят шаттлы на орбиту. Рассказано также и о главных конструкторах этой великолепной и мощной техники, которая в завершение второго тысячелетия от рождения Христова воплотила в себе величественные достижения человеческой мысли и духа. Поскольку «Буран» был последним среди них, то он оказался наиболее мощным и совершенным космическим ракетопланом, который также можно было использовать для межпланетных перелётов и именно для них, если бы его преждевременно не списали из конъюнктурных соображений. Приводятся краткие исторические сведения о других создателях ракетопланов и некоторые характеристики этой удивительной техники. Дополнительные сведения выходят также в виде отдельной книги под названием «Космические движения летательных аппаратов».

### А. Двигатели мощных ракет

В.П.Глушко родился в Одессе 2 сентября 1908 года. В 1919 году он был зачислен в Реальное училище имени св. Павла (переименовано в IV профтехшколу «Металл» им. Троцкого). Закончил её в 1924 году. В это время (с 1923 по 1930 годы) начался его обмен письмами с К. Э. Циолковским. В 1924 году получает диплом об окончании профтехшколы. Ещё в 1924 году (в 16-летнем возрасте) В.Глушко опубликовал в одесских «Известиях...» исследование под названием «Завоевание Землёй Луны». Через два года появилась его статья «Станции вне Земли», в которой обоснована необходимость создания орбитальной станции — спутника Земли.



Валентин Петрович Глушко (1908-1989), инженер, один из пионеров ракетно-космической техники, конструктор советских жидкостных реактивных двигателей для разнообразных типов ракет-носителей. Главный конструктор космических систем (1974-1989), Генеральный конструктор комплекса «Энергия – Буран». В 1994-м его именем назван кратер на видимой стороне Луны. Астероид 6357 Глушко также носит его имя.

Ещё во время учёбы в университете В. Глушко разрабатывает идею теоретических и экспериментальных исследований конструкции гелиоракетоплана и начинает проектирование космического корабля, который будет использовать для полёта солнечную энергию. 15 мая 1929 зачислен в штат Газодинамической лаборатории. В 1930 году разработана конструкция и начато изготовление первого отечественного жидкостного ракетного двигателя ОРМ-1.

Одновременно В.П. Глушко в качестве окислителя для ракетных топлив предложил азотную кислоту, растворы в ней азотного тетроксиды, перекись водорода и другие. Он разработал и испытал профилированное сопло, сконструировал теплоизоляцию камеры ракетного двигателя из двуокиси циркония. В 1930 году, будучи сотрудником Газодинамической лаборатории, молодой конструктор разработал экспериментальный проект ракетного двигателя, что стало одним из свидетельств начала в стране новой эры ракетного двигателестроения. В январе 1934 года Глушко был переведен в Москву и назначен начальником сектора РНДИ Наркомата Обороны. В 1933–1934 годах читал курсы лекций в Военно-воздушной инженерной академии им. М.Е. Жуковского. В декабре 1935 года вышла его книга «Ракеты: их конструкция и применение» (под редакцией Г.Е. Лангемака и В.П. Глушко). В 1937 году Глушко опубликовал 7 статей в сборниках научных трудов РНДИ «Ракетная техника». В марте 1938 года Глушко был арестован, по август 1939 находился под следствием во внутренней тюрьме НКВД на Лубянке

и в Бутырской тюрьме. 15 августа 1939 он был осуждён Особой тройкой при НКВД СССР сроком на 8 лет, а потом оставлен для работы в техбюро. До 1940 года работает в конструкторской группе 4-го Спецотдела НКВД (так называемой «Шарашке») при Тушинском авиадвигательном заводе №82. За это время были разработаны проекты вспомогательных ускорителей ЖРД (жидкостной ракетный двигатель) для самолётов С-100 и Сталь-7. В 1940 году Глушко был переведен в Казань, где он продолжил работы в статусе главного конструктора КБ 4-го Спецотдела НКВД при Казанском заводе №16 по разработке вспомогательных самолётных ракетно-жидкостных двигателей. 27 августа 1944 г. решением Президиума Верховного Совета он был досрочно освобождён со снятием судимости. Полностью реабилитирован в 1956 году.

В декабре 1944 года Глушко назначен главным конструктором ОКБ-СД (Исследовательское Конструкторское Бюро Специальных Двигателей), г. Казань. В 1944–1945 годах под его руководством проведены наземные и лётные испытания ЖРД РД-1 на самолётах Пе-2Р, Ла-7, Як-3 и Су-6. Разрабатывается трёхкамерный азотнокислотно-керосиновый ЖРД РД-3 тягой 900 кгс, проведены стендовые испытания ЖРД РД-1ХЗ с химическим повторным зажиганием. С июля по декабрь 1945 года и с мая по декабрь 1946 г. Глушко находился в Германии, где изучал трофейную немецкую ракетную технику (в основном — «Фау-2») в институте «Нордхаузен». Репрессии ведущих советский ракетчиков, в основе которых лежали просчёты довоенного руководства страны, привели к серьёзному отставанию от разработок немецких ракетчиков, руководимых Вернером фон Брауном. 3 июля 1946 приказом МАП авиазавод № 456 в Химках был перепрофилирован под производство жидкостных ракетных двигателей с одновременным перебазируванием на него коллектива ОКБ из Казани. Этим же приказом Глушко был назначен главным конструктором ОКБ-456 (ныне — НПО «Энергомаш»). 10 октября 1948 года проведен успешный пуск ракеты Р-1 с РД-100 (копия немецкой «Фау-2»). Проводятся работы над модификацией двигателя РД-100 (РД-101-РД-103). 19 апреля 1953 осуществлён успешный пуск ракеты Р-5 с РД-103.

По результатам испытаний 2 февраля 1956 года ракеты Р-5М с боевым ядерным зарядом В. П. Глушко получил звание Героя Социалистического Труда. Дальше под его руководством разработаны

мощные ЖРД на низкокипящих (кислородно-керосиновый, а позднее совместно с Конопатовым и кислородно-водородный) и высококипящих (амил-гептиловых) топливах, которые использовались на первых ступенях и в большинстве других для советских ракет-носителей. Вот их неполный список: РД-107 и РД-108 для РН «Восток», РД-119 и РД-253 для РН «Протон», РД-301, РД-170 для «Энергии» и «Зенита» (на сегодня вместе со своей модификацией РД-180 – самый мощный РРД в мире) и много других.

В мае 1974 года по его инициативе и поддержке группы товарищей постановлением ЦК КПСС экспериментальная отработка ракеты-носителя Н-1 была приостановлена, несмотря на готовность двух ракет к испытаниям. 22 мая 1974 года В.П. Глушко назначен директором и генеральным конструктором НПО «Энергия», которое объединило в себе ОКБ, им основанное, и КБ, раньше руководимое С.П. Королёвым. С его инициативы были свёрнуты работы над ракетой-носителем Н-1, вместо которой под его руководством началось создание многоцветной космической системы «Энергия — Буран». Он также возглавлял работы по усовершенствованию пилотируемых космических кораблей «Союз», грузового корабля «Прогресс», орбитальных станций «Салют», создание орбитальной станции «Мир». В. П. Глушко умер 10 января 1989 года.

Двигатели В.П. Глушко стали основой ракетных систем, с помощью которых СССР достиг больших успехов в освоении Космоса. Вместе с С.П. Королёвым он создал баллистические межконтинентальные ракеты и советские ракетно-космические системы. На двигателях В.П. Глушко работали и работают многоцветные ракетно-космические комплексы «Энергия», «Буран», космические корабли «Восток», ракеты-носители «Протон».

### **Первая ступень: ДВИГАТЕЛЬ РД-170 ракет «Зенит» и «Энергия»**

Двигатель (рис.54, 55) состоит из камеры сгорания 1, турбо-насосного агрегата 2, который имеет турбину 3, насоса горючего 4 (керосин) и насоса окислителя 5 (жидкий кислород), двух газогенераторов 6, бустерного насоса горючего 7, который приво-

дит в действие гидравлическая турбина 8, бустерного насоса окислителя 9, который приводит в действие газовая турбина 10.

Бустерный насос окислителя (БНАО) 9 через трубопровод 11 соединён со входом насосу окислителя 5, выход которого через пускоотражательный клапан 12 соединён с коллекторной полостью 13 смешивающей головки 14 газогенератора 6. На входе БНАО установлен фильтр окислителя. Бустерный насос топлива (БНАТ) 7 через трубопровод 15 соединён со входом первой ступени 16 насоса горючего 4. Первая ступень топливного насоса 16 соединена со входом второй ступени 17 топливного насоса и через трубопровод 18, в котором установлен дроссель 19 с электроприводом 20, соединена с коллектором 21 камеры сгорания 1, из которого топливо распределяется по каналам 22 регенеративного охлаждения камеры сгорания 1. На входе БНАТ установлен топливный фильтр.

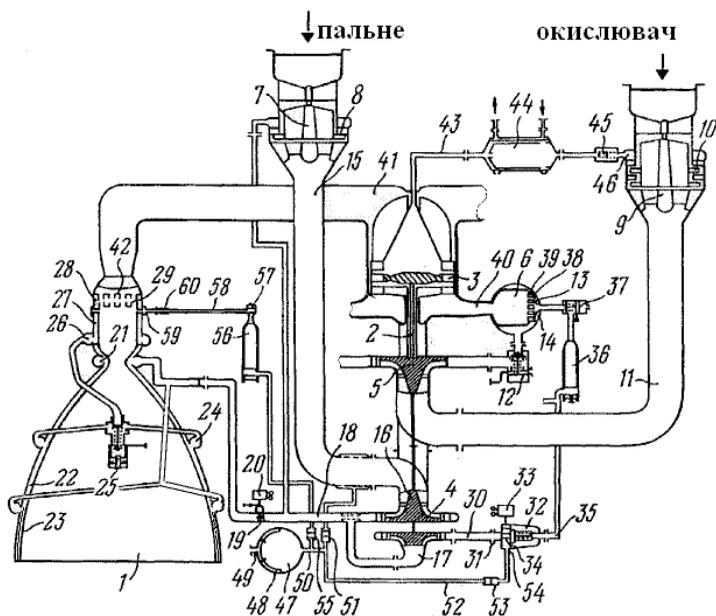


Рис.54. Схема двигателя РД-170 (описание – в тексте) [2].

Каналы 22 регенеративного охлаждения сопла 23 через коллектор 24 соединены с пускоотражательным клапаном 25. Выход этого клапана соединён с коллектором 26, размещённым на цилиндрической части камеры сгорания. Выход коллектора 26 через регенеративные каналы 27 охлаждения цилиндрической части камеры сгорания соединён с полостью топлива 28 смесительной головки 29 камеры сгорания 1.

Вторая ступень 17 насоса топлива 4 (через который проходит 20% от общих затрат топлива) через трубопровод 30 соединена с основным входом 31 регулятора тяги 32, управляемого электроприводом 33 (имеет на входе обратный клапан 34). Выход 35 регулятора тяги 32 соединён с ампулами 36 (2 шт.), заполненными пусковым топливом триэтилалюминием  $Al(C_2H_5)_3$ . Выходы из этих ампул через пускоотражательные клапаны 37 соединены с полостью топлива 38 смесительных головок 39 газогенераторов 6. Выход газогенераторов 40 соединён с турбиной 3, выход которой через трубопроводы 41 соединён с полостью 42 смесительных головок 29 камер сгорания 1.

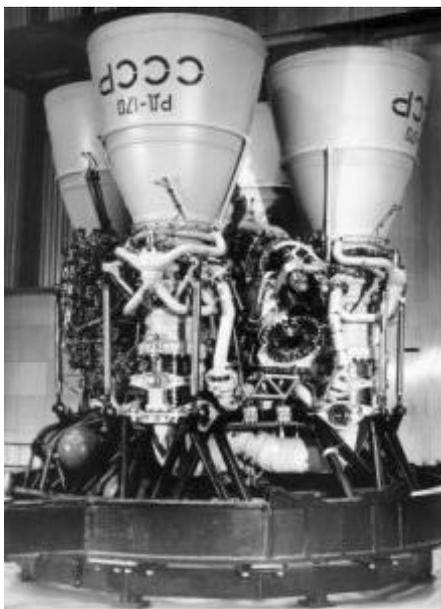


Рис.55. Двигатель РД-170 (без рулевых приводов). На сегодня вместе со своей модификацией РД-180 он является наиболее мощным в мире по тяге [2].

Кроме этого, выход из турбины 3 через трубопровод 43, в котором вставлен теплообменник 44 и клапан давления 45, со-

единён с коллектором турбины 46 привода бустерного насоса 9 окислителя.

Пневмогидравлическая схема ЖРД содержит также систему запуска, в которую входят пусковой бачок 47 с разделительной мембраной 48, патрубков 49 подведения газа высокого давления и выходной патрубков 50. Выходной патрубков 50 пускового бачка 47 через запорочный клапан 51 соединён с трубопроводом 15 подведения топлива от бустерного топливного насоса 7. Кроме этого, выходной патрубков 50 с одного конца через трубопровод 52, в котором установлен обратный клапан 53, соединён с другим входом 54 регулятора тяги 32, через который соединяется запуск двигателя, а с другой стороны - через обратный клапан 55 – соединён с ампулой 56, заполненной пусковым горючим (гиперголем), выход которой через клапан 57 соединён с магистралью 58 подведения пускового топлива к форсункам зажигания 59 камеры сгорания. В магистрали 58 установлен жиклёр 60, который обеспечивает дозированную подачу пускового горючего к форсункам зажигания.

Для уменьшения импульса последствия пускоотражательные клапаны горючего установлены между охлаждающими трактами сопла и камеры сгорания (клапаны 25). Пневмоклапаны приводятся в действие гелием от блока баллонов высокого давления с помощью электроклапанов.

### **Работа двигателя**

Запуск двигателя происходит по схеме «самозапуска». Открывают клапаны ракеты (на схеме не показаны) и под влиянием гидростатического давления топливные компоненты заполняют полости. Заполнение двигателя топливом происходит до пусковых ампул 36 и 56 через запорочный клапан 51, обратные клапаны 53 и 55. Пусковой бачок 47 также заполняется основным топливом. Такое состояние является готовностью к запуску двигателя. Далее проводят наддув бачка 47 и вытеснение из него топлива, давлением которого прорывает мембраны (не показаны) пусковых ампул 36 и 56. Одновременно происходит открытие пускоотражательных клапанов 12, 37 и 25 соответственно.

Тогда пусковое топливо из ампул 36 и 56 под давлением подаётся в газогенераторы (через открытые клапаны 37) и камеры (через обратные клапаны 57).

Пусковое топливо в газогенераторах поджигается с кислородом, который также подаётся сюда вследствие предпускового наддува баков ракеты и гидростатического напора в них. Топливо, проходя по охлаждаемому тракту камер сгорания, через установленное время подаётся в смесительные головки камер сгорания 1. В течение этого времени задержки в газогенераторах успевают начаться процесс горения и произведенный генераторный газ раскручивает турбину 3 ТНА 2 (турбонасосного агрегата). После турбины окислительный газ подаётся четырьмя охлаждаемыми газоведами 41 в смесительные головки 29 четырёх камер сгорания, где он возгорается вместе с пусковым топливом (подаётся из форсунок зажигания 59 и затем дожигается с поданным в камеры горючим. Время подачи обоих компонентов в камеры сгорания подобрано так, что ТНА 2 успевает выйти на рабочий режим, пока в камерах 1 ещё не установилось противодействие вследствие возникновения давления.

После роста давления за топливным насосом 17 пусковой бачок 47 автоматически выключается, благодаря закрытию обратных клапанов 53 и 55, а питание горючим газогенераторов 6 переключается на насос 17 за счёт программного открытия дросселя регулятора тяги 32.

Часть окислительного газа из выхода турбины отбирается на привод двухступеневой газовой турбины 10 бустерного насоса 9. Этот газ, проходя через теплообменник 44, нагревает газ, который идёт на наддув баков ракеты. После турбины 10 газ сбрасывается в выходной коллектор 11, где он смешивается с основным потоком окислителя и конденсируется. Использование газа, который отбирается с выхода турбины ТНА как рабочего тела привода турбины бустерного насоса окислителя позволяет уменьшить температуру в газогенераторе и, соответственно, снизить мощность турбины ТНА.

Часть топлива с выхода насоса 4 попадает на привод одноступеневой гидравлической турбины 8 бустерного насоса 7. Небольшая часть жидкого кислорода отбирается с коллекторов газогенераторов и подаётся в охлаждающий тракт корпуса турби-

ны и газопроводов. На всём этапе запуска двигателя проводится программное управление открытием дросселя регулятора тяги 32 и дросселя топлива 19 из положений начальной установки в положение, которое отвечает номинальному режиму работы двигателя, с помощью соответствующих приводов 33 и 20. Таким образом, осуществляется плавный запуск двигателя с выходом на основной режим через 3 секунды. Перед выключением двигателя переводятся в режим 50% от номинального.

Табл. 17. Технические параметры двигателя РД-170 [2]:

Параметр	Величина	Единицы
Тяга	↓	
Возле Земли	740	т
	7256	кН
в пустоте	806	т
	7904	кН
Границы регулирования тяги	100-40	%
Удельный импульс тяги	↓	
в вакууме:	337	с
на уровне моря:	309	с
Давление в камере сгорания	24.5	Мпа
Затраты компонентов топлива двигателем	2393	кг/с
Коэффициент соотношения компонентов	2.63	m(ок)/m(г)
Регулирование соотношения компонентов	±7	%
Время работы	140-150	С
Масса двигателя	↓	
Сухого	9755	кг
Залитого	10750	кг
Габариты	↓	
Высота	4015	мм
Диаметр в плоскости среза сопел	3565	мм

## Краткая хронология создания двигателя

**1973 г.** - начало проектно-расчётных исследований и конструкторских разработок. Нарботаны технические предложения по двигателях РД-123 с тягой 800 т и РД-150 с тягой до 1500 т.

**1974 г.** - начало экспериментальных исследований по отработке химического зажигания, смесеобразования в камере сгорания и в газогенераторе, высокочастотной устойчивости рабочего процесса в камере и газогенераторе, возможностей многоразового запуска. Исследования проводились на двигателе-аналоге, созданном на базе серийного двигателя 15Д168. Двигатель был конвертирован для работы на жидком кислороде и керосине. На новых компонентах при давлении в камере сгорания 20 МПа двигатель развил тягу 90 т. Всего проведено свыше 300 испытаний на 200 экземплярах с суммарной наработкой во времени 20 тыс. с. Получены: пятикратный запас ресурса двигателя, невозможность возникновения кавитации и значительных пульсаций компонентов топлива при работе насосов. Предусмотрено особое внимание к стойкости материалов в среде окислительного газа.

**Весна 1976 р.** - принято правительственное решение о разработке ракетных систем "Энергия"- "Буран" и "Зенит".

**Ноябрь 1976 г.** - эскизный проект двигателя РД-170: тяга на земле 740 т, в вакууме - 806,4 т; удельный импульс на земле 309,3 с, в пустоте - 337 с; давление в камере сгорания 250 атмосфер, в газогенераторе - до 583 атмосфер; мощность турбины до 297,260 л.с.

**25 августа 1980 г.** - первые огневые испытания двигателя РД-171 (вариант двигателя РД-170 для РН "Зенит").

**9 июня 1981 г.** - первые огневые испытания двигателя РД-171 № А15 (успешно отработаны плановые 150 с в соответствии с программой).

**26 июня 1982 г.** - первые огневые испытания двигателя РД-171 № А18 на стенде НИИ Химмаш в составе первой ступени РН "Зенит". Пуск закончился аварией, которая разрушила единый в СССР стенд, пригодный для проведения испытаний ракеты с двигателем такой мощности.

**Май 1983 г.** - первые успешные огневые испытания двигателя РД-171 на номинальном режиме.

**1 декабря 1984 г.** - первые успешные испытания РД-171 на стенде НИИ Химмаш в составе первой ступени РН "Зенит".

**13 апреля 1985 г.** - первый пуск РН "Зенит" с двигателем РД-171 в составе первой ступени, который завершился аварией вследствие отказа системы управления затратами топлива второй ступени.

**Июнь 1985 г.** - второй пуск РН "Зенит" с двигателем РД-171 в составе первой ступени, завершился аварией вследствие отклонений в работе управляющих двигателей второй ступени с последующим взрывом в конце активного участка.

**Октябрь 1985 г.** - третий (первый успешный) пуск РН "Зенит" с двигателем РД-171 в составе первой ступени.

**Ноябрь 1985 г.** - первые стендовые испытания двигателя РД-170 в составе блока "А" РН "Энергия". Двигатель успешно отработал заданное время.

**15 мая 1987 г.** – первый пуск РН "Энергия" с двигателями РД-170 в составе первой ступени.

**Декабрь 1987 г.** - завершение лётных испытаний РН "Зенит" с двигателем РД-171 в составе первой ступени.

**15 ноября 1988 г.** - второй пуск РН "Энергия" с двигателями РД-170 в составе первой ступени.

**4 октября 1990 г.** – пятнадцатый пуск РН "Зенит", авария на третьей секунде полёта вследствие взрыва двигателя первой ступени. Комиссия установила отказ двигателя вследствие разрушения узла качаний газового тракта второй камеры. Наиболее вероятной причиной пожара стало попадание во внутреннюю полость узла качаний частицы вещества органического происхождения с концентрированным выделением тепла свыше 30 кДж.

**27 июня 1991 г.** - шестнадцатый пуск РН "Зенит" не состоялся вследствие не срабатывания пуска двигателя первой ступени.

**20 мая 1997 г.** - двадцать восьмой пуск РН "Зенит", завершился аварией на 49-й секунде полёта вследствие аварийного отключения двигателя первой ступени. Ракета упала за 28 километров от стартового комплекса.

**9 сентября 1998 г.** - пуск РН "Зенит", авария на 72-й секунде полёта.

**25 марта 2004 г.** - поставка первого товарного двигателя РД-171М для РН "Зенит-3SL" для программы "Морской старт".

**5 июня 2004 г.** - двигатель РД-171М сертифицирован для использования в составе РН "Зенит-3SL" программы "Морской старт".

**15 февраля 2007 г.** - первый пуск РН "Зенит-3SL" с РД-171М.

**25 апреля 2006 г.** - решением Минобороны РФ и Роскосмоса двигателям РД-171М присвоена литера "О1", что позволяет использование двигателя в составе РН "Зенит-М" при реализации государственных программ.

**30 января 2007 г.** - пуск РН "Зенит-3SL" с морской стартовой платформы Odyssey завершился аварией. Ракета взорвалась на старте. Российско-украинская межведомственная комиссия установила, что причиной аварии стало возгорание случайно занесенной извне металлической частицы в насосе окислителя.

**29 июня 2007 г.** - первый пуск РН "Зенит-М" с двигателем РД-171М, осуществлённый с пусковой установки № 1 пл. № 45 Государственного испытательного космодрома Байконур.

**26 апреля 2008 г.** - первый пуск РН "Зенит-3SLБ" с РД-171М по программе "Наземный старт", осуществлён с космодрома Байконур.

**25 декабря 2009 г.** - при проведении огневых испытаний двигателя РД-171М на стенде "НПО Энергомаш" произошёл отказ двигателя с разрушением его материальной части и отдельных систем стенда. Комиссия установила: отказ двигателя при его работе в номинальном режиме тяги произошёл вследствие пожара на 17,6 секунде в газовой полости за турбиной ТНА в месте соединения выхлопного коллектора турбины с газовым трактом одной из камер. Возгорание произошло вследствие попадания внутрь газовой полости постороннего предмета (вещества) в процессе изготовления двигателя, что нельзя было обнаружить обычными осмотрами. Наиболее вероятной признана органическая природа постороннего вещества в газовом тракте двигателя.

## Общие сведения

Двигатель выполнен по замкнутой схеме с дожиганием окислительного генераторного газа после турбины. Компоненты топлива: окислитель - жидкий кислород, топливо – керосин. Двигатель состоит из четырёх камер сгорания, турбо-насосного агрегата (ТНА), бустерного насосного агрегата горючего (БНАГ), бустерного насосного агрегата окислителя (БНАО), двух газогенераторов, блока управления автоматикой, блока баллонов, системы приводов автоматики (СПА), системы рулевых приводов (СРП), регулятора расхода горючего в газогенераторе, двух дросселей окислителя, дросселя горючего, пускоотражательных клапанов окислителя и топлива, четырёх ампул с пусковым горючим, пусковой бачка, рамы двигателя, донного экрана, датчиков системы аварийной защиты, двух теплообменников для подогрева гелия на наддув бака окислителя.

Одной из главных конструктивных особенностей этого двигателя является наличие четырёх камер, которые качаются в двух плоскостях, и двух газогенераторов, работающих на одну турбину. Четыре камеры сгорания позволили иметь параметры камеры с тягой, близкой к освоенному диапазону: 185 т тяги при достигнутых на других разработках 150 т. Кроме того, наличие четырёх камер и двух газогенераторов позволили организовать автономную обработку этих агрегатов.

Турбонасосный агрегат размещён между камерами, а его ось параллельна оси камер. Такое техническое решение позволило оптимально разместить двигатель в ограниченных габаритах хвостового отсека ракеты-носителя.

Для обеспечения ремонтпригодности конструкции широко использованы разъёмные фланцевые соединения. Для герметичности напряжённых фланцев большого диаметра были применены самоуплотняющиеся двухбарьерные уплотнения с металлическими прокладками.

При разработке двигателя было предусмотрено обеспечение возможности сверхдвадцатикратного его использования в составе носителя, включая межполётные огневые проверки. Гарантированные запасы работоспособности двигателей по ресурсу и количеству включений сверх необходимых для одного полёта оце-

нивались не меньше, чем 5. Можно также отметить, что в конце 80-х годов максимальное количество испытаний на одном двигателе составило 21.

## **Вторая ступень «Энергии»: Маршевый кислородно-водородный двигатель РД-0120**



Александр Дмитриевич Конопатов родился 22 марта 1922 г., с. Киевское Краснодарского края — умер 23 мая 2004 года, г. Воронеж) — советский и российский учёный, инженер, эксперт в области авиационных и ракетных двигателей, проблем энергетики, Главный конструктор ОКБ-154 (1965—1993 гг.), Герой Социалистического Труда (1966), член-корреспондент АН СССР, академик РАН, лауреат Государственной премии СССР.

Александр Конопатов родился в семье рабочего нефтяника. В 1939 году Александр Конопатов поступил в Новосибирский инженерно-строительный институт. В первые же дни Великой Отечественной войны студент Конопатов пытался поступить в военное училище, однако ему было отказано по медицинским показаниям. Осенью 1941-го он перевёлся в Московский авиационно-технологический институт, который в то время был эвакуирован из Москвы в Новосибирск.

После окончания института Конопатов был направлен на работу в ОКБ-154. Работал инженером, ведущим конструктором, начальником КБ, первым заместителем Главного конструктора. Был учеником и соратником С. А. Косберга. В 1965—1993 годах на должности Главного конструктора возглавлял Воронежское Конструкторское бюро химавтоматики (КБХА). После выхода на пенсию (1993) был советником Генерального конструктора АО «КБ Химавтоматика».

В 1953 году А. Конопатова пригласили разработчиком двигателей самолётов, использующих однокомпонентное топливо (ЖРД). Результатом инженерных и научно-практических работ в этой области стало создание надёжных двигателей, которые были использованы на самолётах ЯК-27В и других. Начиная с 1958 года, он переходит к разработке ракетных двигателей. Принимал участие в создании жидкостных двигателей для ракет-носителей космического назначения, а также для боевых ракет. В частности, при его участии был создан двигатель РД0105, который использовали на спутниках «Луна-1», «Луна-2» и «Луна-3». Позднее Александр Дмитриевич Конопатов осуществлял общее руководство работами по созданию многих двигателей для ракетно-космической техники на должности Главного конструктора КБХА. 3 1976 року — член-корреспондент АН СССР, а с 1991 года — академик РАН.



Рис.56. Кислородно-водородный криогенный двигатель РД-0120 для высших ступеней сверхмощных ракет-носителей – одна из последних разработок для ракеты «Энергия».

Создание кислородно-водородного реактивного двигателя РД-0120 в конструкторском бюро химавтоматики (КБХА) было сложным научно-техническим заданием не только для этого конструкторского бюро, но и для отечественной науки и про-

мышленности в целом. Стоит ометить, что американские наука и промышленность такое задание решили ещё в конце 60-х годов, создав для лунной программы ракету «Сатурн-5»). Двигатель по своим размерам, уровню давлений и диапазону температур, статическим и динамическим нагрузкам, а также другим характеристикам и сложности изготовления превысил все предыдущие отечественные ракетные двигатели такого класса.

Разработка двигателя началась в 1976 году в КБ химической автоматики под руководством конструктора А.Д. Конопатова. Надо отметить, что история КБХА началась ещё в первый год войны, когда со середины октября 1941 г. ОКБ начало разработку агрегатов для авиационных двигателей того времени. После войны в апреле 1946 г. КБ было переведено в г. Воронеж, где проводило разработку основных агрегатов реактивных двигателей (1954-1958 гг. – жидкостные ракетные ускорители). С 1958 г. начался новый этап по созданию жидкостных ракетных двигателей для стратегических ракет и ракет-носителей.

Первой разработкой (совместно с ОКБ-1 В.П. Глушко) стал кислородно-керосиновый двигатель РД-0105 для третьей ступени ракеты-носителя "Восток", с помощью которой были выполнены старты космических аппаратов на Луну и полёты живых существ (собаки). Этот двигатель был создан в рекордно короткий срок - за 9 месяцев. Следующий двигатель РД-0109 стал новой этапной разработкой. Он создавался для третьей ступени ракеты "Восток" с целью запуска ориентированных спутников Земли. С его помощью был совершён первый полёт человека в космическое пространство (Ю.А. Гагарин). Следующие разработки более мощных кислородно-керосиновых двигателей РД-0107 и РД-0110 для ракет "Восход" и "Союз" были предназначены для обеспечения запусков межпланетных станций, космических кораблей с космонавтами на борту, эксплуатации орбитальных космических станций.

С 1962 г. КБ работало над созданием мощных высокоэкономичных двигателей РД-0210 и РД-0211 (для второй ступени) и РД-0213 (для третьей ступени ракеты-носителя "Протон"). Двигатели были выполнены с применением прогрессивной замкнутой схемы с дожиганием генераторного газа после турбины. Двигатели КБХА обеспечили выведение на орбиту тяжёлых ав-

томатических станций "Протон", запуск станций "Зонд" для облёта Луны, доставку луноходов и выведение орбитальных станций. Кроме этого, за период своей деятельности КБХА создало целый ряд двигателей для боевых ракет. Одной из последних и наиболее трудных по сложности и новизне технических решений и стала разработка кислородно-водородного двигателя РД-0120. Двигатель разрабатывался с использованием опыта создания менее мощных кислородно-водородных жидкостных ракетных двигателей тягой 7,5 т и 40 т. Эти двигатели имели значительно меньшие размеры, более низкие удельные характеристики, меньшую энергооснащённость.

Табл. 18. Основные характеристики двигателя РД-0120 [2]:

Тяга в пустоте	200 т
Тяга на земле	146,6 т
Удельный импульс тяги	455 с (в вакууме)
Удельный импульс тяги	353,2 с (на земле)
Давление в камере сгорания	223 атм
Масса сухого двигателя	3450 кг
Жидкие кислород-водород	6:1 (соотношение масс)
Смена соотношения	7-10% (допустимые пределы)
Время работы двигателя	750 с (в полёте ракеты)
Пределы изменения тяги	45-100 % (дросселированием)
Степень расширения сопла	85,7:1 (геометрическая)
Габаритные размеры	высота 4550 мм, диаметр сопла 2420 мм
Углы качаний сопла, градусы	7-11 (в двух плоскостях)

В состав двигателя входят такие основные агрегаты:

- камера сгорания;
- турбонасосный агрегат (ТНА);
- бустерный насосный агрегат жидкого водорода (БНАП);
- бустерный насосный агрегат жидкого кислорода (БНАО);
- газогенератор;
- пневмоклапаны управления запуском и выключением;
- регулятор с электроприводом;
- исполнительный элемент системы управления величиной

тяги;

- зажигательные устройства камеры сгорания;
- система продувки;
- датчики системы аварийной защиты.

Двигатель выполнен по схеме дожигания генераторного газа после турбины (замкнутая схема). Для отработки двигателя была создана уникальная низкотемпературная экспериментальная база, в которую входили: три кислородно-водородных стенда, хранилища криожидкостей, системы переохлаждения компонентов топлива и их нейтрализации, командно-измерительный комплекс. Строительство и введение в эксплуатацию базы проводилось параллельно отработке двигателя при натуральных режимах, что позволило значительно сократить сроки его создания. Решение научно-технических проблем позволило создать уникальный кислородно-водородный двигатель с высокими энергетическими параметрами.

Реализация программы одноразовых систем в плане создания таких двигателей определилась до 1989 г. Эту программу можно разделить на два этапа: первый этап - это непрерывное усовершенствование конструктивных элементов, повышение надёжности двигателей на основе статистического накопления данных, их массовых характеристик; второй этап – изменение стратегических характеристик, связанных с форсированием двигателя по тяге до 230 т в вакууме и до 224 т на земле, повышением удельного импульса до 460,5 с в вакууме и до 443 с на земле. При этом планировались изменения конструкции и компоновок. К стратегическим характеристикам следует отнести и многоразовость использования двигателя с доведением уровня его величин не ниже тех, которые отвечают первой ступени РД-170 (и даже выше, поскольку это – водородный двигатель).

### **Характеристики носителя «Энергия» для «Бурана»:**

Ступеней - две; длина 59 м; диаметр 16 м (максимальный).

Стартовая масса - 2400 т.

Масса выведенного полезного груза:

- на низкую орбиту: 105 т («Энергия») или 200 т («Вулкан»\*, проектная, не реализована);

- на геостационарную орбиту: 18 т («Энергия», проект).

Число запусков: 2; успешных. 2.

Первый запуск: 15 мая 1987.

Последний запуск: 15 ноября 1988.

Количество двигателей: Первая ступень 4 шт РД-170, (2-8 шт для других вариантов). Топливо – керосин, окислитель – жидкий кислород.

Вторая ступень: 4 шт РД-0120. Топливо – жидкий водород, окислитель – жидкий кислород.

\*) Ракета «Вулкан» (рис.57) - усиленный вариант «Энергии» с 8 двигателями РД-170 первой ступени, высота 88 м. Полезная нагрузка до 200 т (была бы мощнее, чем «Сатурн-5»), стартовая масса 3810 т. Генеральный конструктор С.П. Королёв мечтал о полёте на Марс и строил ракету Н-1. Генеральный конструктор В.П. Глушко строил «Энергию-Вулкан» для межпланетных полётов и первой видел Венеру. Конечно, такие мощные ракеты являются чрезвычайно затратными и нужны для масштабных проектов, однако для отдельных стран это – очень дорогое удовольствие. Нужна международная кооперация, примером которой сегодня стал проект Международной космической станции (МКС).



Рис.57. Ракета «Вулкан» решила бы много проблем пилотируемых полётов до Венеры и Марса [29, 33].

## Б. Космические самолёты: «Буран», «Спираль» и Шаттлы



Глеб Евгениевич Лозино-Лозинский (1910-2001), Генеральный конструктор НПО «Молния», генерал майор (1999), Герой Социалистического Труда (1975), лауреат государственных премий, доктор технических наук. Работал над системами от МиГ-9 до МиГ-31, «Спираль», «БОР», «МАКС», «Буран».

Будущий Генеральный конструктор проектов «Спираль» и «Буран» Глеб Евгениевич Лозино-Лозинский родился в Киеве 7 января 1910 г. (25 декабря 1909 г. по старому стилю) в дворянской семье. В 1926-1930 годах учился в Харьковском механико-машиностроительном институте, после окончания которого получил диплом инженера-механика по специальности «Паротехника» и был направлен на Харьковский турбогенераторный завод.

В 1932 году Глеб Евгениевич стал работать инженером научно-испытательной станции Харьковского авиационного института. Вся последующая трудовая деятельность Лозино-Лозинского была связана с авиастроением. В этой отрасли он начинал как специалист по двигателям, для которых сконструировал первую советскую форсажную камеру для турбореактивного двигателя. С 1941 года работал в ОКБ А.И. Микояна и М.И Гуревича, участвовал в организации серийного производства истребителей от МиГ-9 до МиГ-31. Для последнего уникального самолёта-перехватчика МиГ-31 был Генеральным конструктором. С 1971 г. работал на должности Главного конструктора ОКБ. В 1966 году в ОКБ А.И. Микояна под руководством Лозино-Лозинского началась разработка проекта «Спираль».

Авиационно-космическая система «Спираль» [29] - это комплекс, который состоял собственно из орбитального самолёта и

гиперзвукового самолёта-ускорителя (должен был давать шестикратно большую от звука скорость). Это было бы ответом на американскую программу X-20 Dyna Soar (впоследствии и американская, и советская программы были свёрнуты). Самолёт-разгонщик также можно было бы использовать и как пассажирский транспорт. Теплозащитное покрытие орбитального самолёта особой формы («Лапоть», см. обложку) было выполнено из ниобиевого сплава дисилицида молибдена. Пилот вместе с кабиной, которая имела собственные двигатели, мог в случае аварии отделиться. И орбитальный самолёт, и самолёт-разгонщик были созданы, однако министр обороны СССР Гречко А.А. признал проект слишком фантастичным и не дал согласия на запуск самолёта в космос.

В 80-х годах продолжением создания космических самолётов стал ещё один комплекс «МАКС» (многоцелевая авиационная космическая система). Опыт, наработанный на «Спирали» (а также на беспилотном орбитальном ракетоплане БОР-4), был использован для воздушного старта с Ан-225 «Мрия». Преимуществами этого комплекса были использование топлива низкой токсичности и возможность старта с аэродромов для пассажирских самолётов. Цели: разведывальные и для спасения экипажей космических кораблей, снятие их с орбиты (в нашей книге описывалась противоположная операция - транспортировка экипажа с аэростатной станции на орбиту Венеры).

Работы по созданию корабля «Буран» начались в 1976 году в созданном для этого НПО «Молния», которое возглавил Глеб Евгениевич. Строительство «Буранов» начали в 1980 году на Тушинском машиностроительном заводе (первый корабль должен был появиться в 1984 году как объект военного назначения в рамках программы «Энергия-Буран»). Предназначение комплекса «Энергия-Буран» - использование космического пространства в военных целях, выведение на орбиту космонавтов и грузов и их возвращение, научные исследования.

Эта очень дорогая программа была ответом на американскую Space Shuttle 1972 года, которая не была настолько засекреченной и, скорее всего, не имела военного назначения. Ведь свыше 5 лет до этого в США вообще не было запусков людей в космос. В рамках американского проекта планировались запуски 60 ко-

смических челноков в год, каждый из которых бы выводил 29,5 т и возвращал до 14,5 т. Проект широко обсуждался в СМИ, информация была открытой, в отличие от советской.

Но до старта «Бурана» было ещё очень далеко. Нужны были большие коллективы инженеров-проектировщиков, технологов, рабочих-монтажников и много другого для реализации мечты о космическом ракетоплане, которую высказывали ещё первопроходцы космоса Циолковский, Кондратюк, Цандер и другие инженеры-мечтатели, а ещё раньше – писатели-фантасты. Для атмосферных испытаний был создан полномасштабный аналог «Бурана» (рис.58), который бы смог самостоятельно подняться в небо и осуществить приземление. На нём отряд космонавтов будущего космического корабля и тренировался.



Рис.58. Самостоятельно летавший аналог «Бурана» (БТС-02) для отработок посадок и тренировок космонавтов [2, 29]. Имел дополнительные 4 турбореактивные двигатели общей тягой 40 т. Длина 36,367 м; высота 16,35 м; размах крыльев 23,92 м; объём кабины для экипажа 73 м<sup>3</sup>; максимальный взлётный вес 92 тыс. кгс. Силовая установка ОКБ им. Архипа Люльки: два ТРД двигателя АЛ-31 и два ТРДФ (форсажный) АЛ-31Ф. Высоты полёта до 6 км; максимальная скорость 600 км/час; приземление 300 км/час. В Украине по слухам бывал в г. Узин Киевской обл. (база стратегических бомбардировщиков Ту-95).

Первый и пока единственный полёт «Бурана» в космос состоялся 15 ноября 1988 года. Корабль без экипажа (автоматический режим) стартовал с космодрома Байконур с помощью ракеты-носителя тяжёлого класса «Энергия». Полёт длился 205 минут, «Буран» дважды облетел вокруг Земли и приземлился на аэродроме «Юбилейный» на Байконуре. Управление полётом осуществлялось бортовым компьютером, в отличие от Шаттлов. Программа «Энергия-Буран» была официально остановлена в 1993 году уже после распада СССР, однако некоторые из достигнутых наработок «Бурана» используются во всём мире и до сих пор. Сам выдающийся конструктор Лозино-Лозинский умер 28 ноября 2001 года.

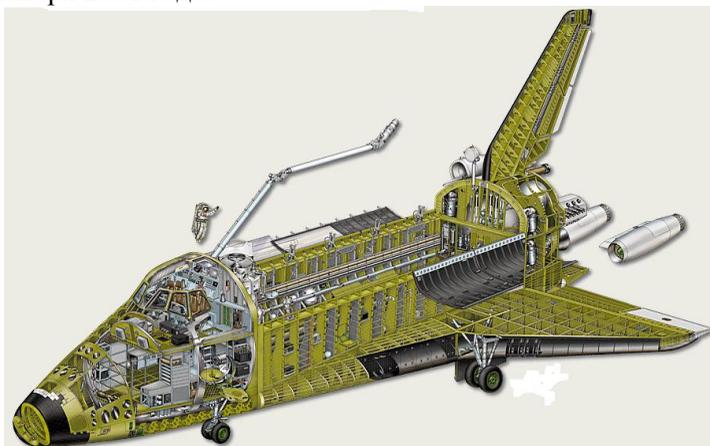


Рис.59. Каркасная схема корабля «Буран»: кабина экипажа (70 м<sup>3</sup>), грузовой отсек с механическим манипулятором и крыло с хвостовыми органами управления и двигателями ориентации, маршевые двигатели [29,33].

Рассмотрим теперь предшественников «Бурана» - американские шаттлы. Ведь советские конструкторы, кроме собственных наработок, очень внимательно изучили их и взяли на вооружение всё полезное и стоящее внимания. Что же такое "Space Shuttle"?

Конструктивно многоразовая транспортная космическая система "Спейс Шаттл" (рис.61) состоит из двух твердотопливных

ускорителей, фактически являющимися первой ступенью, и орбитального корабля с тремя маршевыми кислородно-водородными двигателями и подвесным баком, которые вместе образуют вторую ступень. При этом топливный бак - единственный одноразовый элемент системы (сгорает в атмосфере, когда один из шаттлов отделяется). Использование твердотопливных ускорителей – до 20 раз, орбитального корабля – до 100 раз, кислородно-водородных двигателей - до 55 раз.



Рис.60. Окончательный вариант комплекса «Энергия-Буран» (начиная с марта 1978 г.): четыре керосиновых двигателя РД-170 (первая ступень носителя «Энергия»); четыре водородных двигателя второй ступени; бак топлива и окислителя (жидкий кислород); маршевые двигатели «Бурана» обеспечивают третью ступень для выведения в космос и управления вместе с двигателями ориентации [29,33].

При начальном проектировании предусматривалось, что такая многоразовая транспортная космическая система (МТКС) при стартовой массе 1995-2050 т сможет выводить на орбиту с наклоном  $28,5^\circ$  полезный груз массой 29,5 т; на солнечно-синхронную орбиту – 14,5 т и возвращать на Землю с орбиты груз массой 14,5 т (как видим, показатели были скромнее, чем потом у «Бурана», но это было впервые!). Также предусматри-

вали, что количество запусков МТКС можно довести до 55-60 в год. В первом проекте стартовая масса МТКС "Спейс Шаттл" составила 2022 т, масса пилотируемого орбитального корабля при выведении на орбиту – 94,8 т, а при посадке – 89,1 т.

Разработка такой системы, особенно когда это впервые и неизвестно, возможно ли такое вообще, - очень сложная и трудоёмкая проблема. Интересно, что оказались не реализованными в полной мере первоначально планируемые показатели общих затрат на создание системы, стоимости её запуска и сроки создания. Так, например, стоимость в процессе разработок выросла с 5,2 млрд. дол. (в ценах 1971 г.) до 10,1 млрд. дол. (в ценах 1982 г.), стоимость одного пуска – с 10,5 млн. дол. до 240 млн. дол. Не удалось выдержать и сроки первого экспериментального полёта (планировали в 1979 году).

Всего было построено шесть шаттлов. Из них пять космопланов предназначались для космических полётов, два из которых были утрачены (вместе с космонавтами) в катастрофах. Вот их общий список:

### ***"Enterprise" (OV-101)***

Опытный образец, предназначен для отработок спуска в атмосферу и посадки в режиме планера. Строительство началось в 1974 году. Сбрасывался с самолёта-носителя "Боинг-747". Осуществил 17 испытательных полётов.

### ***"Columbia" (OV-102)***

Назван в честь первого американского корабля, совершившего кругосветное плавание. Его строительство началось в 1975 году, а первый полёт состоялся 12.04.1981. "Columbia" первым из челноков претерпел различные модификации, которых было всего примерно 50. В 1991 году после доработок в Калифорнии осуществил несколько миссий, а в 1994 и 1999 годах "Columbia" опять прошёл ремонт. Корабль погиб в 01.02.2003 во время посадки при возвращении из своего 28 полёта в космос.

### ***"Challenger" (OV-099)***

Строительство было начато в 1975 году, назван в честь британского военно-исследовательского судна 19 века. Первый ко-

смический полёт состоялся 04.04.1983. Осуществил 10 миссий. Погиб во время старта 28.01.1986.

### ***"Discovery" (OV-103)***

Назван в честь одного из двух кораблей путешественника и первооткрывателя 18 века капитана Джеймса Кука. Строительство началось в 1979 году. Первый полёт в космос состоялся 08.30.1984. "Discovery" осуществил 31 полёт.

### ***"Atlantis" (OV-104)***

10.03.1985 на орбиту впервые вышел шаттл "Atlantis". Его назвали в честь американского исследовательского судна. Строительство началось в 1980 году. "Atlantis" выполнил 26 полётов.

### ***"Endeavour" (OV-105)***

Строительство было начато в 1987 году (на смену потерянному в катастрофе шаттлу "Challenger"). Первый полёт состоялся 05.07.1992. Назван в честь второго корабля капитана Кука. "Endeavour" был наиболее современным из американских космических челноков. Много из новых достижений, которые впервые испытывались на нём, были впоследствии использованы при модернизации остальных шаттлов. Корабль совершил 19 полётов.

Посадка шаттла производилась в несколько этапов. Сначала кораблю придаётся тормозной импульс для схождения с орбиты. Это делается примерно за половину витка до места посадки. При этом шаттл летит кормой вперед в перевернутом положении. Длительность работы тормозящих двигателей орбитального маневрирования равняется примерно 3 минутам (соответственное уменьшение скорости шаттла — 322 км/час). Этого достаточно для того, чтобы перигей орбиты опустился в атмосферу Земли. Потом челнок совершает разворот (в вертикальной плоскости, т.е. относительно поперечной горизонтальной оси вращения - по углу тангажа). Это ему даёт необходимую ориентацию для вхождения в атмосферу. Корабль входит в атмосферу с большим углом атаки (примерно 40°).



Рис.61. Многоразовая транспортная космическая система "Спейс Шаттл" ("Space Shuttle").

Имея заданный угол тангажа, корабль выполняет несколько S-образных манёвров с углом крена до  $70^\circ$  (в поперечной вертикальной плоскости). Это позволяет довольно быстро погасить скорость в верхних слоях атмосферы (также помогает уменьшить подъёмную силу крыла, которая является чрезмерной на этом этапе спуска и создаёт тенденцию рикошета обратно в космос). Температура отдельных участков теплозащиты корабля при этом не превышает  $1500^\circ$ . Максимальная перегрузка, которую ощущают астронавты на этапе

атмосферного торможения — всего около 1,5 g (очень комфортный режим, по сравнению с традиционным способом капсулы).



Рис.62. Сравнение размеров шаттла и советской орбитальной станции «Союз» (станция наблюдения «Алмаз» также легко могла входить в бортовой отсек любого из шаттлов).

После уничтожения основной части орбитальной скорости корабль продолжает спуск как тяжёлый планер с очень плохим аэродинамическим качеством, постепенно уменьшая угол тангажа. Дальше летающий утюг выполняет манёвр захода на посадочную полосу. Вертикальная скорость корабля на этапе снижения довольно высока — примерно 50 м/с (т.е. 180 км/ч при ещё более высокой горизонтальной). Угол посадочной глиссады также большой — примерно 17–19°, иначе не будет возможности иметь достаточную для управления подъёмную силу. На высоте около 500 м и скорости, близкой 430 км/ч, начинается выравнивание корабля и выполняется выпуск шасси. Касание посадочной полосы происходит на скорости примерно 350 км/ч, после чего выпускается тормозной парашют (диаметром 12 м). После торможения до скорости 110 км/ч парашют отбрасывается. Экипаж выходит из корабля через 30–40 минут после остановки.

Важно отметить, что в отличие от американских шаттлов, «Буран» мог сесть без вмешательства пилота, т.е. в автоматическом режиме. При этом у него была возможность повторить маневр в виде второй попытки зайти на полосу снова, включив двигатели. Именно так компьютер и сделал во время первого (и пока крайнего) полёта «Бурана», очевидно «почувствовав» какие-то «сомнения» в конце первого захода. Конечно, советский корабль мог посадить и экипаж, который просился хотя бы посидеть в кабине во время полёта в космос. Не дали... У американских астронавтов существовала только одна такая попытка сесть в режиме планера. Очевидно, что подготовка на тренировках проводилась на высочайшем уровне, а аппаратура была в прекрасном состоянии, поскольку при посадках на полосу за всё время полётов шаттлов не было ни одной серьёзной аварии.

### **Технические характеристики американских Шаттлов:**

Размеры комплекса на стартовой позиции (рис.61): 56,14 м

Масса при старте: 2045 т

Масса полезной нагрузки: 29,5 т

Процент полезной нагрузки от общей массы: 1,4 %

Подъёмная сила при старте: 30 806 кН (3141 тс).

### **Твердотопливный ускоритель (первая ступень комплекса):**

Длина: 50 м

Диаметр: 3,71 м

Общая масса двух ускорителей: 1180 т

Подъёмная сила двух ускорителей: 25500 кН (2600 тс)

Удельный импульс: 269 с

Время работы: 123 с.

**Бак** содержит топливо (жидкий водород) и окислитель (жидкий кислород) для трёх жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) SSME (RS-24) на самом ракетоплане и не имеет собственных двигателей. Это – единственная часть, которая не является многоразовой (сгорает в атмосфере после сброса). Топливный бак разделён на три секции. Его верхнюю треть занимает жидкий кислород при температуре  $-183$  °С. Объём этой полости равен

650 м<sup>3</sup>. Нижние две трети бака содержат жидкий водород при температуре  $-253$  °С. Объём этой полости составляет 1752 м<sup>3</sup>. Полости с кислородом и водородом разделяет кольцеобразный промежуток, который содержит оборудование для подачи топлива и окислителя. На нём также крепятся верхние концы ракетных ускорителей.

Начиная с 1998 года, баки изготавливались из алюминиево-литиевого сплава. Поверхность топливного бака покрыта термозащитной оболочкой из напыленной пены полиизоцианурита толщиной 2,5 см. Задачи этой оболочки — защитить топливо и окислитель от перегрева и избежать образования льда на поверхности бака. В месте крепления ракетных ускорителей с целью избежать образование льда установлены дополнительные нагреватели. Для защиты водорода и кислорода от перегрева внутри бака также установлена система кондиционирования. Отдельная электрическая система вмонтирована в бак для защиты от молний. За регулировку давления в топливных полостях и за поддержание безопасных условий в промежуточном отсеке отвечает система клапанов. В баке размещены разнообразные датчики состояния систем. Топливо и окислитель из бака подаются к трём маршевым ЖРД орбитального ракетоплана (сам шаттл) магистралями питания диаметром 43 см каждая, которые дальше разветвляются в ракетоплане и подводят реагенты до каждого двигателя. Баки изготавливала компания «Lockheed Martin».

Приведём характеристики одноразового бака для шаттлов:

- Длина 47 м; диаметр 8,38 м.
- Масса на старте 756 т.
- Тяга на уровне моря (104,5 %) 5252 кН (535,5 тс).
- Удельный импульс 455 с.
- Время работы бака 480 с.
- Топливо: жидкий водород; масса топлива на старте: 103 т.
- Окислитель: жидкий кислород; масса окислителя на старте: 616 т.

## Шаттл (орбитальный ракетоплан)

После включения трёх основных двигателей орбитального ракетоплана (за 6,6 с до момента старта, т.е. отрыва от стартового стола и *отделения от внешнего топливного бака*) дальше, на участке довыведения, а также для маневрирования на орбите и схождения с неё используются два двигателя системы орбитального маневрирования (англ. Orbital Maneuvering System, OMS). Каждый из них имел тягу 27 кН. Топливо и окислитель для OMS хранились на шаттле. Их использовали на орбите и для возвращения на Землю. Кроме того, в состав OMS входил также задний ряд двигателей реактивной системы управления (англ. Reaction Control System, RCS), которые были предназначены для ориентирования корабля на орбите. В носовой части ракетоплана размещался передний ряд двигателей RCS. Приведём характеристики шаттла.

Длина ракетоплана: 37,24 м.

Размах крыльев: 23,79 м.

Масса (без полезного груза): 80 т.

Общая подъёмная сила на старте: 5306 кН (541 тс).

Удельный импульс: 316 с.

Время работы: 1250 с.

Топливо: метилгидразин (не криогенное, очень токсичное).

Окислитель: тетраоксид диазота ( $N_2O_4$ , не криогенный, тоже очень токсичный). Похожее топливо и окислитель были и на «Буране».

Внутри ракетоплан делится на отсек для экипажа (передняя часть фюзеляжа), большой грузовой отсек и хвостовой для двигателя. Отсек для экипажа двухэтажный, рассчитанный на 7 астронавтов (в условиях спасательной операции может вместить ещё троих). Его объём составляет  $65,8 \text{ м}^3$ . Имеет 11 окон и иллюминаторов. В отличие от грузового, в помещении для экипажа поддерживается постоянное давление. Отсек экипажа разделён на три отделения: кабина управления, салон и переходный воздушный шлюз. Кресло командира экипажа находится в кабине слева, кресло пилота — справа, органы управления полностью продублированы так, чтобы и капитан, и пилот могли

управлять независимо. В кабине в общем числе отображаются свыше двух тысяч показаний приборов. Астронавты живут в салоне, здесь находится стол, спальные места, сохраняется дополнительное оборудование, а также станция оператора экспериментов. В воздушном шлюзе находятся скафандры для двух астронавтов и инструменты для работы в открытом космосе.

В грузовом отсеке (не герметичный) размещаются грузы, которые доставляют на орбиту и возвращают с неё на Землю. Важная деталь грузового отсека - Система дистанционного манипулирования (англ. Remote Manipulator System) — огромная механическая рука длиной 15,2 м (такая же есть и на «Буране»), управляемая из кабины ракетоплана. Механическая рука применялась для фиксации и манипуляций с грузами в космосе. Двери грузового отделения имеют вмонтированные радиаторы, которые используются для теплоотвода.

Программа «Космическая транспортная система» была завершена в 2011 году. Все шаттлы были списаны после их последнего полёта. В пятницу, 8 июля 2011 года был совершён последний старт «Атлантика» с сокращённым до четырёх астронавтов экипажем. Это был последний полёт по программе «Космическая транспортная система». Он завершился рано утром 21 июля 2011 года.

В 2006 году общие финансовые затраты на проект Шаттл составили 160 млрд дол. США. Всего осуществлено 115 запусков. Средние затраты на каждый полёт составляли 1,3 млрд дол. США, хотя основная их часть (проектирование, модернизация и др.) конечно не зависит от числа запусков. Несмотря на то, что стоимость каждого полёта Шаттла составляла примерно 450 млн дол., на обеспечение 22 полётов шаттлов с середины 2005 года по 2010 год в бюджете NASA было заложено примерно 1 млрд 300 млн дол. прямых затрат.

На эти деньги шаттл мог доставить за один рейс на Международную космическую станцию (МКС) 20-25 тонн грузов, включая модули МКС, и плюс 7-8 астронавтов. Для сравнения, стоимость запуска одноразовой ракеты-носителя «Протон-М» с выведением груза 22 т составляет примерно 70-100 млн. дол. (при себестоимости ниже 40 млн. дол.) Таким образом, нельзя утверждать, что многоразовая американская система является

более дешёвой, чем одноразовые. В то же время, её эксплуатация оказалась значительно более эффективной, чем «Енергия-Буран», поскольку приземление первой ступени шаттла в океан было мягким, а блок из четырёх РД-170 на сушу близ Байконура – нет (происходили большие повреждения и первая ступень, таким образом, оказывалась лишь условно многоразовой).

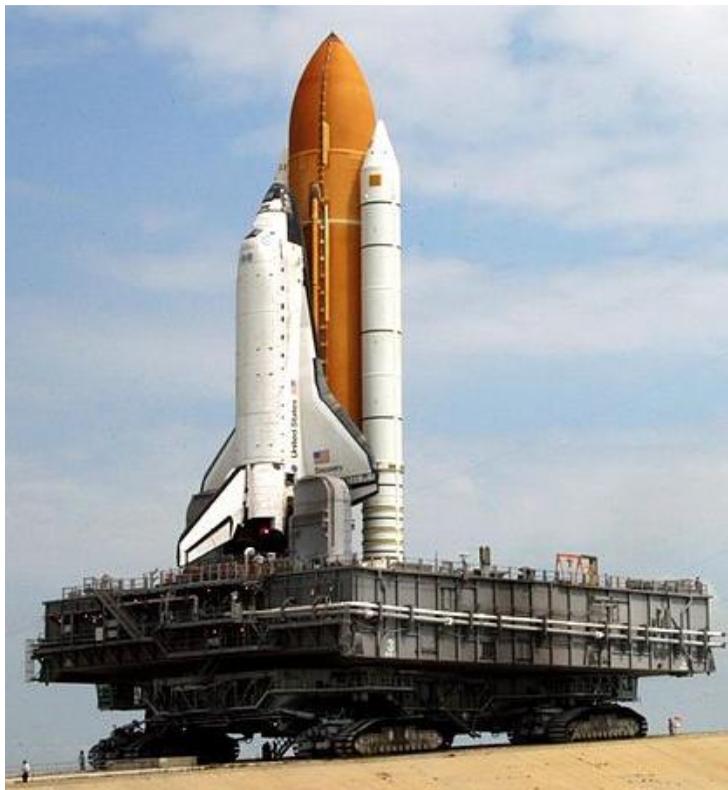


Рис.63. Транспортировка многоразового комплекса на стартовую площадку (фото NASA).



Рис.64. Посадка шаттла «Атлантис» (фото NASA).

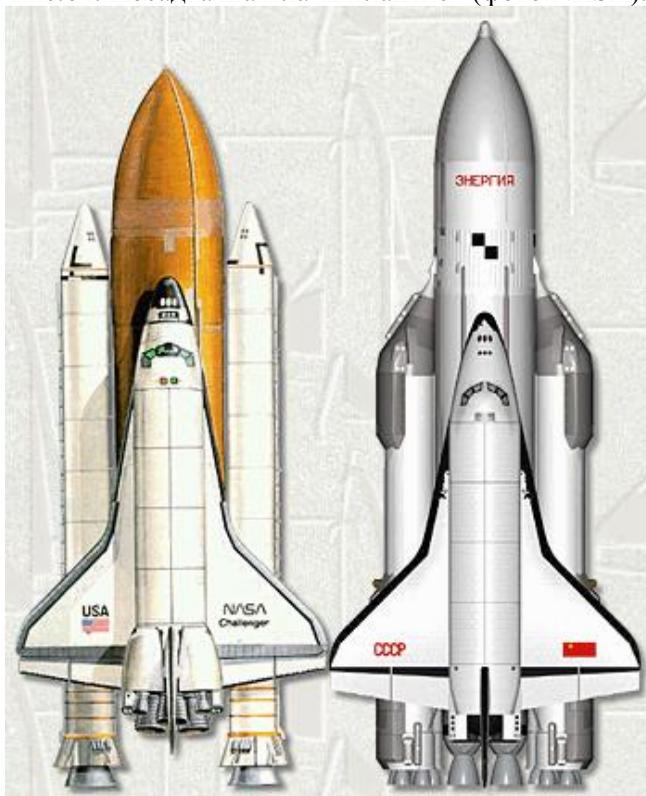


Рис. 65. Сравнительные размеры комплексов «Space Shuttle» и «Буран-Энергия».

Сравним также затраты от начала работ до первого полёта для этих двух выдающихся систем, о которых мечтали ещё Юрий Кондратюк (включая сюда идею твердотопливных ускорителей) и другие первопроходцы космоса.

**Система Spase Shuttle.** Официальное начало работ: 1972 г.

Первый космический полёт: 12.04.1981 г.

Суммарные затраты на 1983 г. (разработка и испытания): 17,8 млрд. дол. США (по курсу 1982 г.)

**Система Энергия-Буран.** Начало работ: 17.02.1976.

Первый космический полёт: 15.11.1988 г.

Суммарные затраты на 1 января 1991 г.: 12,3 млрд.руб + 4,1 млрд. руб на капитальное строительство.

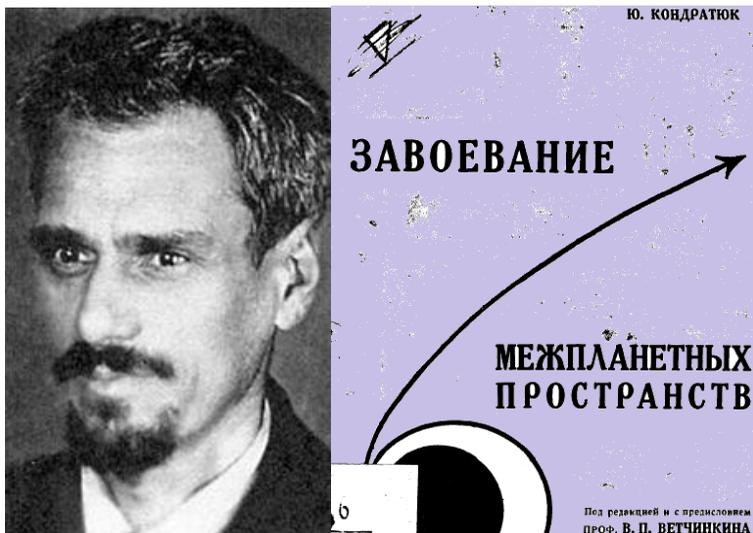
Как видим, затраты вполне сопоставимы.

## **В. Юрий Васильевич Кондратюк (А.И. Шаргей)**

«Наше время изумляет, разрывает нас на части,  
Мы гордимся этим веком – наша жизнь полна чудес,  
Но на душу населения чести, мужества и счастья  
Ни убавил, ни прибавил удивительный прогресс»  
(Александр Дольский, «Прощай XX-й век»)

В завершение книги вспомним человека, который на первом этапе космических исследований как инженер-учёный достиг, наверное, наиболее глубоких результатов в том направлении, которое мы обсуждали. Этим человеком является украинец Юрий Кондратюк (Александр Игнatieвич Шаргей), хотя его имя на родине долгое время было мало известно большинству людей, и только специалисты знали о нём. В своей книге «Завоевания межпланетных пространств», которая была итогом десятилетий напряжённой мысли и вышла в 1929 году в г. Новосибирске, Кондратюк описал как создать ракету для полётов в космос, последовательно решая чрезвычайно разнообразные и сложные проблемы запуска с земной поверхности пилотируемого космического корабля, достичь поверхности Луны и успешно вернуться на Землю.

Будущий генеральный конструктор межконтинентальных баллистических ракет С.П. Королёв высоко оценил в 1938 году эту книгу и предложил Кондратюку войти в его коллектив. Однако тот, проживая под чужим именем, вежливо отказался, поскольку опасался проверок могущественной НКВД - и не безосновательно. Сам Королёв, как и его знаменитый коллега конструктор двигателей ракет Валентин Глушко (позже - генеральный конструктор космической программы «Буран» МПО «Энергия») тоже имели возможность познакомиться на своём горьком опыте с методами деятельности этой организации, не один год работая после ареста и суда в так называемых шарашках. Им повезло значительно больше, чем их руководителю Лангемаку (одному из творцов легендарного комплекса «Катюша»), который на основании абсурдных и не доказанных обвинений был осуждён к расстрелу.



Юрий Васильевич Кондратюк (Александр Игнatieвич Шаргей). Родился в Полтаве 9 (21) июня 1897 г., погиб 25 февраля 1942 г. в бою, защищая свою землю и свой народ от врага.

Прошли всего 30-40 лет до того момента, когда расчёты и предложения гениального инженера-самоучки фактически были реализованы в конце 60-х (США), причём не в последнюю очередь – благодаря книге Кондратюка. Нил Армстронг, который первым из людей ступил на поверхность Луны, во время посещения музея Юрия Кондратюка в г. Новосибирске взял себе на память горсть земли со словами: «Она мне не менее дорога, чем грунт, который мы привезли с Луны». Стелла Космонавтов на мысе Канаверал, где выбиты имена первых «покорителей» космоса, содержит и фамилию Юрия Кондратюка. Важно отметить, что советская лунная программа в начале 70-х была близкой к практической реализации. Однако, вследствие отсутствия политической воли тогдашнего партийного руководства и временных неудач было принято необоснованное решение о её прекращении, поскольку советский пилотируемый корабль не смог достичь Луны первым. Через несколько лет и правительство США прекратило пилотируемые полёты. В обоих случаях была мотивация больших экономических затрат. Однако, это была не главная причина, иначе полётами в космос вообще бы не занимались. Ведь ещё Вернер фон Браун в своё время сказал, что мощные ракеты могут себе позволить лишь большие страны.

В 1927 году Юрия Кондратюка как инженера-строителя переводят на новое место работы – на строительство зерновых элеваторов в Западно-Сибирскую область. Там в январе 1929 года он на личные средства издаёт в типографии г. Новосибирска две тысячи экземпляров своей книги с предисловием и рецензией проф. Ветчинкина. Первый экземпляр с подписью: “С почтением пионеру исследований межпланетных сообщений. От автора Юр. Кондратюка» он посылает в г. Калугу К.Э. Циолковскому. Известный учёный не остаётся в долгу и шлёт в ответ свою книгу “Исследование мировых пространств ракетными приборами”. Вскоре он издаёт книгу «Космические ракетные поезда», в предисловии к которой похвально откликается о Кондратюке как об одном из ведущих разработчиков будущих космических полётов.

В это время сам инженер-мечтатель строит в городе Каменьна-Оби уникальное зернохранилище «Мастодонт» (1930 год, проект и руководство Юрия Кондратюка). Гвозди тогда были

товаром дефицитным и дорогим, поэтому зернохранилище значительных размеров соорудили без единого гвоздя. По ложному обвинению в диверсионной деятельности (без гвоздей деревянное сооружение не выдержит давления зерна, хотя в действительности оно ещё и после войны десятилетиями стояло, пока не сгорело вследствие пожара) 31 июля 1930 года Юрия Кондратюка арестовали и осудили на три года лишения свободы. При этом следователь НКВД на допросах выбил ему передние зубы. Весной 1932 года по личному ходатайству наркома тяжёлой промышленности Серго Орджоникидзе Кондратюка освободили. В конкурсе проектов мощной ветровой электростанции в Крыму на горе Ай-Петри его проект побеждает, были начаты строительные работы, однако после смерти наркома Орджоникидзе уникальный проект наиболее мощной в Европе Крымской ВЕС «законсервировали» до лучших времён, которые вскоре и наступили. Потом уже после войны проект знаменитой Останкинской телебашни (строительство проводилось под руководством его бывших коллег Злобина и Никитина, см. дальше) также включил в себя идеи и замыслы из опыта проектирования Крымской ветровой электростанции. Ведь ничто не возникает на пустом месте и не исчезает бесследно.

С началом войны Юрий Кондратюк, имея освобождение от призыва, как сознательный патриот вступает добровольцем в народное ополчение. Он воевал солдатом роты связи, а 3 октября 1942 г. во время боя возле села Барсуки Калужской области пошёл на задание искать разрыв телефонного кабеля и не вернулся. Прямых документов, которые бы свидетельствовали о том, как погиб этот удивительный человек, нет. Правда, есть справка Генерального прокурора СССР о его гибели в боях.

Юрий Васильевич Кондратюк был одним из основателей теории промежуточных станций (ракетных баз) как спутников планет, рассчитал в грубом приближении траектории наиболее экономного старта с поверхности Земли, предложил идею использования в качестве ракетного горючего некоторых металлов, например, порошков магния, лития, алюминия, активно пропагандировал водород как эффективное ракетное топливо. Таким образом, программы «Спейс Шаттл» и «Энергия-Буран» - осуществление и его идей, а в особенности - программа «Апол-

лон». Он, официально не имея даже высшего образования, самостоятельно получил уравнение движения ракеты. Независимо от таких пионеров космоса, как Циолковский, Годдард (США), Оберт (Австрия, Германия), инженер-самоучка доказал, что ракета, которая не сбрасывает своих топливных баков, вылететь за пределы земного притяжения не сможет.

Юрий Кондратюк первым разработал тщательно детализированный и экономически обоснованный вариант экспедиции на Луну, предложил конструкцию скафандра космонавта для выхода в открытый космос; рассчитал температурный режим при торможении атмосферой космического планера, одним из первых предложил идею гравитационного манёвра; предложил способы стабилизации аппарата в невесомости плавающими силовыми гироскопами, предложил идею ракетного (ионного) электродвигателя от энергии Солнца и космический парус.

После всестороннего анализа возможных вариантов американские специалисты для реализации программы "Аполлон" выбрали схему полёта из его книги, которую обнаружили в библиотеке Конгресса США, назвав её трассой Кондратюка. Автор убедительно обосновал и подтвердил расчётами энергетическую выгодность посадки на Луну по следующей схеме: полёт на лунную орбиту, спуск на небольшом вспомогательном модуле, возвращение на орбиту и стыковка с главным кораблём, полёт на Землю с торможением избыточной скорости атмосферой. Эта схема победила в конкурсе проект Вернера фон Брауна, который предусматривал посадку большого корабля с топливом на Луну, поскольку схема Кондратюка была в два раза экономичнее (ведь общие затраты и так были астрономическими).

Идеи Кондратюка оказались полезными и для программы «Спейс Шаттл», например – твёрдотопливные ускорители первой ступени. Многие из них и сейчас постепенно осуществляются в современной космической технике, а книга 1929 года «Завоевание межпланетных пространств» и вся жизнь её автора являются источником вдохновения для энтузиастов космоса. Отметим, что она была переиздана ещё раз уже после войны Воениздатом в 1947 г., а теперь, благодаря Интернету, с ней может ознакомиться каждый желающий. Вот что написал в своём письме В.П. Глушко от 20.09.76 г. на просьбу журналистов Све-

рдловской киностудии о Юрие Кондратюке: "Ряд его оригинальных и важных идей используется в отечественной и зарубежной космонавтике, а много других общепризнанных его идей являются неотъемлемой частью ближайших планов покорения космоса человеком. Ю. В. Кондратюк навсегда вошёл в историю космонавтики как один из её талантливых пионеров... Наша страна может гордиться своим сыном — Юрием Василиевичем Кондратюком, который обогатил отечественную ракетно-космическую науку и технику блестящими достижениями и сложил свою голову в тяжёлое время фашистского нашествия".

Александр Игнатьевич Шаргей (Ю. В. Кондратюк) был и генератором идей, и их реализатором, т.е. одновременно и мыслителем, и творцом. Он обогнал своё время: много из его замыслов только через десятилетия смогли осуществить другие. Так, например, его коллега в прошлом, построив совместно с М. В. Никитиным (1907-1973) самую высокую на то время Останкинскую телебашню, Б. А. Злобин (1908-1980) записал в своём дневнике: "Задумываюсь — почему я не говорю о башне, отдав ей 10 лет напряжённого труда, с пафосом и так восторженно, как она того заслуживает. Ответ один: ежедневная упорная новаторская работа в 1929—1930 и в 1934—1936 годах с Ю.В. Кондратюком приучила не считать новое чем то рекордным. Я смолodu привык к масштабам и взглядам Кондратюка, привык не смотреть, как он говорил, "вытарашенными глазами" на то, что рождается впервые в инженерной практике, привык к мысли, что если для дела нужно, то и это можно превзойти".

Именем Юрия Василиевича Кондратюка назван один из кратеров на невидимой стороне Луны, и это - символично. Вот некоторые из его печатных трудов:

Кондратюк Юр. Завоевание межпланетных пространств./Под редакцией и с предисловием проф. В. П. Ветчинкина.— Издание автора.— Новосибирск, ул. Державина, 7.— 1929 год (2000 экземпляров).

Горчаков П. К., Кондратюк Ю. В. Применение бетона высокого напряжения к постоянной крепи шахтных стволов/Горный журнал, 1931.—№ 11.

Горчаков П. К., Кондратюк Ю. В. Железобетонный копер башенного типа, выполняемый в подвижной опалубке/Горный журнал, 1931.—№11.

Горчаков П. К., Кондратюк Ю. В. Проходка шахт с механизацией опалубной, бетонной и порододоборочной работ/Горный журнал, 1932.—№12.

Кондратюк Ю. Автобиография (письмо профессору Н.А. Рынину)/Н.А. Рынин. Теория космического полёта.— Л., 1932.— сс. 342—346.

Кондратюк Ю.В., Горчаков П.К. О неравномерности давления на круглую шахтную крепь и изгибающих моментах в ней/Горный журнал, 1933.— №4.

Кондратюк Ю.В., Горчаков П.К. Проект наиболее мощной в мире ветроэлектростанции//Социалистическая индустрия, 1934, № 1—2.

Горчаков П.К., Кондратюк Ю.В. Основные характеристики и перспективы ветроэнергетики/Электрические станции, 1939.— № 10—11.

Кондратюк Ю. Завоевание межпланетных пространств. Издание второе под редакцией П.И. Иванова.— М.: Оборонгиз, 1947 год (5000 экземпляров).

Кондратюк Ю.В. Тем, кто будет читать, чтобы строить. Завоевание межпланетных пространств/Пионеры ракетной техники. Кибальчич, Циолковский, Цандер, Кондратюк. Избранные труды.— М.: Наука, 1964.

Mykola Zholonko  
The manned Venus study  
by the hydrogen balloon stations

**Abstract**

We discuss the possibility of manned missions to Venus by the existing tools to create in its atmosphere of the constantly acting hydrogen stations. It could be the beginning of this planet colonization as a reserve for humanity. This raises, issues of critical importance as studies of Venus as closest planet to Earth by the distance, weight and size. It was shown the special role of hydrogen for life on Earth and in space as some of the main stock due which anybody can obtaine the most forms of energy that exist. This book is for scholars and students, teachers and technical staff, space fans. The aim of the book is to promote the latest scientific knowledge and its applications to focus the minds of these new nobles targets and to form the active social life position, the desire to understand natural phenomena. The role and the place of man in the world is very important because it can have the different scenarios of the nearest development. The book emphasizes that humanity will not be able to find their salvation anywhere but in space only. After all, we are the part of this an open system. The physical conditions of Venus will come on Earth if people will not go beyond their planet and will be destroying its biosphere rather than building of the new.

## Content

Preface .....	5
Introduction. History of investigations of Venus and other planets of the earth group. ....	9
Part I. Manned flight to Venus research. ....	30
1. Physical and meteorological conditions in the atmosphere and on the surface of Venus. Hydrogen balloon in the Venusian Atmosphere .....	30
2. Observations of Venus against the background of the solar disk from Earth. ....	35
3. Road to Venus. The problem of big mass transportation .....	42
4. The descent from orbit of shuttle with large balloons and its stabilization of at a given height .....	54
5. Drift and adjustment of life balloon crew. Manufacture their own oxygen, hydrogen, etc. from atmosphere materials due to sun Energy .....	56
6. Radar works of Venus and down on surface of Research homoho machine. The perspectives of bathyscaphe base .....	59
7. Launching, docking and lifting small shuttle to orbit Venus for replacement of airstation crew. ....	61
8. Return to Earth of the first mission after arrival changes .....	62
Part II. Hydrogen and prospects for its use in various areas. ....	63
1. Hydrogen as the chemical element and as an environmentally friendly battery power .....	63
2. Production of hydrogen by electrolysis and storage. ....	70
3. Other ways to produce hydrogen. Purification of hydrogen .....	80
4. Hydrogen as a source of water. Living Water. ....	84
5. Prospects for fusion energy. ....	95
6. Agriculture as fusion technology due to plant photosynthesis. Progress Energy .....	121
Part III. Why explore and colonize Venus. ....	137
1. Hydride cores of Venus and Earth. The effects of deep hydrogen degassing. ....	137
2. The problem of identifying geological age of Venus by examining its volcanic and geological structures .....	143
3. Investigation of the ozone layer and other features of Venusian atmosphere. ....	147

4. The problem of reducing the temperature and pressure of the atmosphere of Venus. Creating factories machines for processing carbon acid .....	147
5. Study from bathyscaphe base of conditions on the surface and seismic processes under it. ....	149
6. The strategic goal of humanity - the colonization of Venus and creating conditions similar to earth. The problem of magnetic field .....	150
Conclusions. ....	152
Bibliography. ....	155
Applications:	
A. Engines powerful missiles. ....	157
B. Space Aircraft: Buran, Spiral and Shuttles .....	175
C. Yuri V. Kondratiuk (Shargey) .....	190

Научно-популярное издание

Николай Николаевич Жолонко

## Пилотируемые исследования Венеры водородными аэростатами

В собственном редактировании  
(перевод с украинского)

Дизайн, компьютерная вёрстка, издание и печать книги –  
Рекламно-информационная издательская агенция «Бизнес-  
стиль», руководитель Людмила Шитюк

Подписано к печати 10.09.2013. Формат 60x84 1/16.

Гарнитура Таймс

Бумага офсет. Усл печ. листов 11,6. Тираж 200 экз. Зам № 9/1.

Издатель: Рекламно-информационная издательская агенция  
«Бизнес-стиль»

Тел.: 0472-56-13-23, 050-65-88-395, 067-444-16-96

e-mail: [biznes-stil@uch.net](mailto:biznes-stil@uch.net)

Свидетельство о внесении в госреестр субъекта издательского дела  
ДК №1621