

**П.Г. АНТИПОВ**

***Повышение транспортной  
эффективности в XXI веке***

Рыбинск, 2009

В начале 21 века процессы глобализации, развитие средств связи и получение промышленностью высокопрочных материалов позволяют дать переоценку современных транспортных средств.

Прежде всего, стоит кратко ответить на вопросы: каким образом конкурируют между собой различные виды транспорта, каковы цели компаний перевозчиков с одной стороны и потребности их клиентов с другой.

1. Начнём с клиентов. Все люди строго индивидуальны, и в этом самая большая проблема удовлетворения их потребностей. Для некоторых скорость настолько важна, что, выбравшись из-под обломков рухнувшего на взлёте реактивного самолёта, они спрашивают у пожарников: «Когда следующий рейс?». Для других важен комфорт, для третьих цена билета и удобство провоза багажа. Но есть у людей чувство, про которое часто забывают – это желание быть независимым, то есть полностью брать судьбу в свои руки. И как только технические и финансовые возможности общества достигают определённого уровня, люди пересаживаются на определённый вид индивидуального транспорта.
2. Теперь о перевозчиках. Они значительно проще. Для них, прежде всего, важна прибыль на вложенную сумму и производительность труда персонала.
3. Перечислим известные виды транспорта в порядке убывания их топливной эффективности:
  1. крупные дирижабли,
  2. супертанкеры,
  3. железнодорожные составы,
  4. речные суда,
  5. грузовые автомобили и автобусы,
  6. легковые автомобили,
  7. пассажирские и транспортные самолёты,
  8. суда на подводных крыльях,
  9. вертолёты,
  10. снегоходы.

Крайне маловероятно наличие двух точек\*, между которыми были бы проложены трассы для перечисленных видов. Каждое транспортное средство создано для своей среды и конкурирует с себе подобными. Но и к дирижаблям и к снегоходам предъявляются одинаковые требования, повышающие их конкурентоспособность:

- экономичность
- скорость
- минимальная стоимость
- долговечность

- дружелюбность к окружающей среде

Какое из этих противоречивых требований важнее, заранее сказать нельзя. Понятно, что конкурентоспособность транспортного средства закладывается при его проектировании. При изготовлении нельзя превышать сроки и смету. Затем изделия попадают на рынок, и только там потребитель начинает голосовать рублём. Кажется, что на начальной стадии проектирования предугадать успех продаж невозможно. Но это не всегда так. Рассмотрим эти моменты на примере несуществующего дирижабельного транспорта.

\* точка – аэродром, порт, транспортный узел

## **Дирижабли**

О том, что дирижабли являются самым экономичным транспортным средством известно давно. К.Э. Циолковский теоретически и граф Цеппелин практически это доказали. Так почему этого транспорта, появившегося сто лет назад сегодня нет?

Причины объективные:

1. Воздушный океан очень суровая и плохо предсказуемая среда.
2. Транспортная инфраструктура достаточно развита и в дирижаблях нет острой необходимости. Подобно тому, как при сильно развитой автодорожной сети в США практически полностью пропала потребность в железных дорогах.
3. Пока очень «мягкие» экологические требования к перевозчикам.

Причины субъективные:

1. «Авторитет Германа Геринга» - это когда армейские чины не рассматривают дирижабли, как военный транспорт. Практически все остальные виды транспорта одобрены и используются в армиях ведущих государств.
2. Скорость дирижабля сравнивается со скоростью самолёта, и делается вывод, что дирижабли тихоходные.
3. Нет миллиардера, целенаправленно и последовательно истратившего около \$10 миллиардов на создание дирижабельного флота.

## **Качество**

Теперь о самом главном. Чтобы понять сущность любого транспортного средства необходимо соотнести две силы, которые всегда к нему приложены

– это вес и сопротивление среды. Если вес разделить на сопротивление получим безразмерную величину (критерий). Назовём его Качество.

При перемещении с места на место любого предмета критерием оценки эффективности процесса служит угол трения. Обратная величина тоже будет Качеством (К). То, сколько километров пролетит вперёд самолёт с километра высоты при неработающих двигателях, есть качество. Если сопротивление среды уравновешено тягой двигателя, то отношение веса к тяге – тоже Качество! Чем Качество больше, тем километровый расход топлива меньше и при всех прочих равных эта зависимость линейная! В связи с тем, что на транспорте (в авиации в частности) финансовые расходы на топливо являются доминирующими, то от К зависит коммерческая эффективность эксплуатации любого транспортного средства.

У супертанкера и железнодорожного состава  $K=400$ , а у автотранспорта (грузовики и автобусы)  $K=100$ , у крылатых обычно  $K=10...15$ , у сверхзвуковых, винтокрылых и гусеничных  $K$  около 2.

Качество – самая важная составляющая эффективности транспорта, так как не имеет принципиального ограничения по своей величине. В то время, как КПД силовой установки не может быть больше 100%. Весовая отдача, то есть отношение массы полезной нагрузки к разрешенной максимальной массе, тоже не может быть близка к 100%.

Транспортные средства в списке топливной эффективности расставлены именно по мере убывания Качества.

Пример ошибки:

Инженеры Аэробуса для своего А-380 рассчитывали  $K=15$ , но ошиблись (такое бывает у зазнаек) – реально конструкция могла обеспечить  $K=10$ . В результате расход топлива в 1,5 раза больше заявленного, а дальность в 1,5 раза меньше...

Сегодня на спортивных планерах  $K=55$ . Планерное качество имеют только кругосветные самолёты Берта Рутана.

На мой взгляд, причина столь большого отрыва рекордов от реальности – это отсутствие настоящих авиаконструкторов на фирмах. Везде должности получили хорошие заместители, и они продолжают «старые добрые» дела. Этот «субъективный факт» не в пользу дирижаблей ☹.

Итак, мы уже знаем, что крупные дирижабли по качеству на первом месте и по цене не на последнем. Осталось уточнить экономичность, скорость, минимальную стоимость, долговечность, дружелюбность к окружающей среде.

## Экономичность и скорость

На протяжении века под экономичностью понимают расход топлива на 100 км пути. И если говорят, что автомобиль расходует 8 литров, то надо понимать, что в лучшем случае на одного человека приходится 2 литра. А как оценить экономичность электромобиля получающего энергию от солнца? Не трудно предположить, что тут, сколько людей – столько и методик. Описывать физические процессы формулами – лукавство. С другой стороны, простой расчет – лучше, чем вообще без расчета. Для сравнения удобно пользоваться безразмерными величинами. Тогда пусть экономичность «Э» будет произведением качества «К», «кпд» и весовой отдачи «ВО».

$$\text{Э} = \text{К} \cdot \text{кпд} \cdot \text{ВО}$$

Пусть отправной точкой наших транспортных изысканий станет автомобиль. Качество современного легкового автомобиля массой 1,5 тонны на скорости 100 км/ч около 20. Коэффициент полезного действия силовой установки достигает 40% или 0,4. Весовая отдача невелика, обычно 0,25. А при недогрузке она ещё уменьшается. Садясь в машину, мы и не думаем, что большая часть денег потраченных на топливо уходит на оплату не нашего перемещения, а перевозку самого изделия (того, внутри которого мы находимся).

Сосчитаем экономичность:

$$\text{Э} = 20 \cdot 0,4 \cdot 0,25 = \underline{2}$$

Электромобиль на современном уровне отличается, в основном, высоким КПД (0,8)     $\text{Э} = \underline{4}$ .

Случайно ли автомобиль с двигателем внутреннего сгорания получил неудовлетворительную оценку? Может кто-то расценит это как знамение ☺.

Если электромобиль с литиевыми аккумуляторами будет стоить не дороже дизеля, про двигатели внутреннего сгорания на автотранспорте человечеству придется забыть. К тому же электричество давно дешевле бензина.

Зная прошлую и будущую экономичность автомобилей, можно по достоинству оценить величие дирижабля ☺.

Теория не накладывает ограничений на размеры дирижаблей, но как мы знаем, главный враг для них – стихия воздушного океана. Противостоять стихии можно только одним проверенным способом – быть большим. Расчеты показывают, что при встречном ветре 10 м/с коммерческая эффективность дирижабля сохраняется, если его объём превышает 1,5 млн. кубометров. Все «великие» дирижабли были в десятки раз меньшего объёма. Их командиры полагались на удачу. Океан играл с ними, как хотел, неизбежно одерживая победу над человеческим разумом ☹.

Качество дирижабля с увеличением размеров линейно возрастает, а с увеличением скорости в 2 раза уменьшается в 4 – зависимость квадратичная. Минимальный по объёму коммерчески эффективный дирижабль

грузоподъёмностью 1000 тонн на скорости 100 км/ч будет обладать качеством около 100. Для сравнения – это качество междугороднего автобуса. Если скорость дирижабля объёмом 1,5 млн. кубометров довести до 300 км/ч его качество сравнится с аэробусом А-380.

Гораздо интереснее уменьшать крейсерскую скорость до скорости ж/д составов и супертанкеров. В этом случае качество достигает 500. А если увеличить линейные размеры дирижабля в 2 раза, грузоподъёмность будет уже 8000 тонн. Качество в этом случае достигнет фантастических 1000 единиц. Если бы самолёт мог обладать таким качеством, то, исключив двигатели над северным полюсом на высоте 10 км, он спланировал бы до экватора!

Итак, первоначально дирижабельный флот должен состоять из судов объёмом 1,5 млн. кубометров и грузоподъёмностью 1000 тонн.

Их экономичность на скорости 100 км/ч  $E=K \cdot k_{пд} \cdot V_0 = 100 \cdot 0,4 \cdot 0,67 = \underline{26}$ , а на скорости 50 км/ч экономичность увеличится в 4 раза и достигнет 104.

Эта величина вполне сравнима с экономичностью больших грузовиков и автобусов. На меньших скоростях дирижабли будут показывать экономичность железнодорожного транспорта или крупных морских судов, значительно превосходя их по скорости. Как видим дирижабли весьма гибкие по скорости и экономичности. Ну а если дирижабельная эра настанет, то самыми выгодными будут дирижабли грузоподъёмностью около 10 000 тонн.

Какова будет их **минимальная стоимость**? Логично предположить, что при строительстве дирижаблей необходим авиационный подход. Тогда стоимость конструкции будет в районе \$1000 за 1 кг. Дирижабль может поднять груза в 2 раза больше своей массы. Таким образом, минимальная стоимость одного коммерческого дирижабля \$500 млн. Да, дорогими получаются «самые экономичные».

Интересно сравнить скорость окупаемости воздухоплавательного транспорта с самолётным. При одинаковой стоимости конструкции дирижабль имеет в 4 раза большую грузоподъёмность и при этом проигрывает в скорости самолётам в 8 раз. Кажется, что 1 кг полезной нагрузки дирижабля окупает вложенный доллар в 2 раза медленнее, но если на самолёте расходы на топливо равны стоимости амортизационных отчислений, то дирижабли уже будут успешно конкурировать с реактивными. Особенно сильно «преимущество» дирижаблей при порожних рейсах, так как расходы на топливо могут быть в 100 раз меньше самолётных!

Теперь о **долговечности**. Современные самолёты служат четверть века и даже более. Это притом, что они сделаны из материалов подверженных усталостным разрушениям. На взгляд автора, срок службы крупных

дирижаблей может исчисляться сотнями лет. Дирижабли – это капитальные сооружения. И в этом нет ничего плохого, стоят мосты и небоскрёбы, делают деньги. Никто на это не жалуется. Ремонт на дирижаблях (как и на первых самолётах) можно выполнять во время рейса!

Сам факт долговечности – это снижение нагрузки на окружающую среду. Полёт на солнечной энергии выше облаков, полная независимость от углеводородного топлива – это будущее не только для дирижаблей, для любого вида транспорта.

Есть у дирижабля ещё одна потенциально дружественная особенность – он может быть паромом на континентальных перевозках. Помогать конкурентам-дальнобойщикам минимизировать издержки на горных перевалах, да и просто дать хорошо поспать вовремя рейса.

Итак, успех продаж дирижаблей будет обеспечен, если к их замечательным техническим данным производитель построит порты и личным примером на первых экземплярах покажет окупаемость, безопасность и удобство пользования. Трудно предположить, сколько будет стоить дирижаблепорт со всей инфраструктурой - миллиард или два? Важно что успех проекта находится в районе \$10 миллиардов. Можно на эту сумму построить трансконтинентальный нефтепровод. Можно железную дорогу и возить по ней не только нефть. А можно построить дирижабельный флот и возить нефть, газ и торговать самими дирижаблями. Для успеха нужен размах.

## Супертанкеры

При одинаковых размерах супертанкеры будут уступать дирижаблям по качеству из-за дополнительного волнового сопротивления. Но, во-первых, они на сегодняшний день и так самый экономичный транспорт, во-вторых, делаются они из стали, а значит, относительно дешёвы.

Определим экономичность супертанкера на скорости 20 узлов  $E=400 \cdot 0,5 \cdot 0,7 = \underline{140}$ .

Принципиально любой корабль водоизмещением от 100 до 500 тысяч тонн можно отнести к супертанкерам. Но даже для этих великанов существует опасность попасть на гигантскую волну, которая переломит корабль. Как показывает действительность, происходят даже крайне маловероятные события. Интересно, что для подводных лодок такой проблемы не существует. К тому же подводные лодки, как и дирижабли, не имеют волнового сопротивления. Поэтому их скорость в подводном положении больше, а воздействие на окружающую среду меньше. Можно сказать, что проблема всех морских судов заключается в том, что они

находятся на разделе двух сред. Для увеличения Качества, надо разделить океанский корабль на надводную и подводную часть.

Например, у судна на подводных крыльях такое разделение есть. Только вместо крыльев должен быть корпус подводной лодки. Главный недостаток такой конструкции – статическая неустойчивость, с которой на современном уровне прекрасно справляется электроника. Главное преимущество – штормовая стойкость – дорогого стоит. В бухте надводную (пассажирскую часть) можно отстыковывать от подводной (грузовой) и швартовать их на разных причалах. Такая комбинация позволяет с пассажиров не брать деньги за топливо, а только за комфорт надводной части. В случае развития катастрофической ситуации можно пожертвовать подводной частью. По сути, предлагается концепция городов с многотысячным населением, курсирующих между материками.

Предположим составляющие экономичности такого супертанколайна водоизмещением около 500 000 т на скорости 20 узлов.  $K=1000$ , кпд с учетом использования солнечной и ветровой энергии 0,9; весовая отдача обычные 0,25.  $\text{Э}=1000 \cdot 0,9 \cdot 0,25 = \underline{225}$ . Да, по сравнению с современным легковым автомобилем цифра впечатляющая! Какое транспортное средство может составить конкуренцию океанскому судну? Только дирижабль\* грузоподъемностью 10 000 т, и то полностью себя окупивший, то есть старый. Но это в теории – это как сравнить москвич-каблук с американским траком. Несомненно, одно – морем возить выгоднее всего.

*\* У дирижабля есть особенность, которая его сильно роднит не только с подводными лодками, но и с супертанкерами. При равных размерах, прежде всего по длине, качество будет одинаковым на равной скорости. Возможно, дирижабли обладают скрытым логистическим преимуществом, так как сформировать груз 1 000 т легче, чем 500 000 т.*

## Железнодорожные составы

Качество подвижного состава велико и для скорости 40 км/ч равно 400.

Сосчитаем экономичность:

$$\text{Э} = 400 \cdot 0,4 \cdot 0,5 = \underline{80}$$

Однако уклоны часто превышают эту величину – приходится тормозить, снижая качество. Перед подъемами и после них на разъездах приходится останавливать составы для подцепки-отцепки толкачей. Много уходит времени на формирование составов, так как вагоны лишены автономности и не могут сами принимать в этом участие, управляясь с единого компьютерного центра. Поэтому самой важной задачей для ж/д, на мой взгляд, является включение в подвижной состав рекуперативных электровагонов, оснащённых долговечными и эффективными аккумуляторами на основе лития. Такие вагоны не только избавят состав от толкачей, но и могут быть использованы в качестве автоматических маневровых локомотивов. Все эти мероприятия позволят существенно увеличить среднюю скорость.

Для континентального климата необходима система стабилизации температуры рельсов, а также крепление их к сваям для увеличения жесткости полотна.

И совсем невероятным мероприятием, но теоретически очень полезным является переход на сверхширокую, точнее сдвоенную колею для увеличения вдвое ширины и высоты вагонов. Это фантастическое мероприятие позволит вдвое увеличить качество, а за одно вчетверо сократить длину составов. Другими словами, необходимо заново построить всю Евразийскую железнодорожную сеть. В общем, есть куда ж/д расти 😊!

## Речные суда

Речной транспорт, исторически самый главный внутри континента.

Предположительно экономичность:

$$\text{Э} = 200 \cdot 0,4 \cdot 0,6 = \underline{48}$$

В настоящее время этот вид потерял свою актуальность. Дело в том, что при малых размерах речных судов для достижения приемлемого качества необходимо снижать скорость. Это делает речной транспорт неэффективным, в сравнении с железнодорожным. Кроме того, на континентальных реках даже умеренных широт зимой навигация прекращается из-за ледостава.

Конкурентоспособность речного судна может проявиться в случае завышения железнодорожных тарифов, тогда клиент ж/д, желая быть независимым, может просто купить корабль. Или как в ФРГ, где

традиционное использование каналов делает перевозки по ним самыми экономичными.

Вывод – речные суда теряют перспективу.

### **Грузовые автомобили и автобусы**

В зависимости от массы качество грузовых автомобилей лежит в пределах от 100 до 20. Большим качеством обладают тяжелые магистральные фуры. У маленьких грузовичков с плохой аэродинамикой качество падает до 20. Особенностью грузовиков, как и остальных механических транспортных средств, является сложная зависимость качества от скорости. До скорости 70 км/ч его можно считать практически постоянным имеющим наибольшее значение. В диапазоне скоростей от 70 до 100 оно незначительно уменьшается и от 100 до 200 км/ч падает практически в квадрате. И если милая экономичная дизельная машинка на скорости 100 км/ч расходовала 5 литров топлива на 100 км, то на скорости 200 км/ч расход возрастает до 20 литров. Понятно, что при двукратном увеличении скорости потребная мощность двигателя возрастает в 8 раз. И это ещё не всё. На скоростях больше 200 резко увеличиваются потери энергии в шинах, на стабильность движения серьезное негативное воздействие оказывают аэродинамические моменты, парировать которые приходится нарушением обтекания кузова и простым наращиванием его массы. Как и в случае с судами для автомобилей справедливым является утверждение, что хорошая машина – это большая машина. Но здесь не всё так просто. Чем больше масса, тем больше нагрузка на площадь колеса, тем больше греется шина и тем труднее её охладить. На сегодняшний день проблема охлаждения колёс решается увеличением их размеров. Поэтому на больших автомобилях диаметр шин непропорционально увеличивается. Но большие колёса не способствуют увеличению качества из-за возрастающего сопротивления воздуха. Проблему можно решить кардинально, изменив конструкцию колеса за счет введения в поперечное сечение шины треугольников. Это изобретение автора (патент РФ №2270101) наряду с разработкой Michelin активного колеса позволят изменить облик автомобилей. Так зачем нужны активные колёса - АК?

Если у машины 4 колеса и 2 ведущих, то её колёсная формула 4x2. Если все колёса ведущие, то 4x4. Что лучше? Ответ 8x8 и более! Чем число АК больше, тем лучше.

1. С ними легко проходить заснеженные подъёмы
2. Со всеми ведущими машина быстрее разгоняется
3. Для замены АК его не нужно домкратить, оно само может приподняться над дорогой

4. По этой причине АК не попадёт в открытый люк (если есть соответствующая электронная программа управления и датчики профиля дорожного полотна)
5. При поворотах всем колёсам электроника может задать не только оптимальный угол, но и подвести к каждому колесу нужный крутящий (тормозной) момент
6. Если современные автомобили при повороте дают крен в обратную сторону, то АК могут кренить машину в сторону поворота. Это повысит безопасность и комфорт.
7. Активные колёса могут уменьшить расход топлива на автотранспорте более чем в 2 раза!

Гибридомобили сейчас в моде, но при этом у них сохраняется механический привод на колёса и мощность ДВС превосходит мощность электромоторов. Это в корне неверный подход! И вот почему. Допустим автобус массой 20 т имеет  $K=100$  на скорости 72 км/ч ( $V=20$  м/с). Это означает, что на уклоне 1% при выключенной передаче скорость будет оставаться неизменной. А какая мощность потребуется при горизонтальном движении? Вес автобуса равен произведению массы на ускорение свободного падения  $Y=m \cdot g=20 \text{ т} \cdot 9,81 \text{ м/с}^2 \approx 200 \text{ кН}$ , а сила сопротивления  $X=Y/K=200 \text{ кН}/100=2 \text{ кН}$ . Произведение силы и скорости даёт мощность  $N=X \cdot V=2 \text{ кН} \cdot 20 \text{ м/с}=\underline{40 \text{ кВт}}$ . Такая скромная мощность и соответственно тяга вполне может быть подведена только к одному из 8 колёс! Маленькая силовая установка ДВС вполне разместится в базе напротив ведущего колеса. Теперь определим суммарную мощность для 7 остальных активных колёс, при условии сохранения заданной скорости на 10% подъёме. В этом случае проекция силы  $Y$  на горизонтальную ось  $X$  составит 10% от веса  $X_{10}=20 \text{ кН}$ . Тогда мощность  $N_{10}=\underline{400 \text{ кВт}}$ . Или на каждое колесо около 70 кВт. С такими электродвигателями автобус сможет не только разогнаться до 100 км/ч за 20 с, но и тормозить на спусках в режиме рекуперации. Бытует мнение, дескать, аккумуляторы тяжелые – это совершенно не так! Аккумуляторы, даже вместе с электродвигателями, при равной мощности с ДВС гораздо легче последнего. А для двигателя внутреннего сгорания требуется сцепление, коробка передач, карданные валы, мосты с дифференциалами. И если всё это железо заменить на литийнанофосфатные аккумуляторы фирмы «A123», автобусу будут доступны любые горные перевалы.

Сосчитаем экономичность на электроприводе:

$$\mathcal{E}=100 \cdot 0,8 \cdot 0,5=\underline{40}$$

Экономичность на приводе ДВС будет в 2 раза меньше:  $\mathcal{E}=100 \cdot 0,4 \cdot 0,5=\underline{20}$

По стоимости и долговечности изделий нельзя сравнивать малосерийное производство с крупносерийным, а именно по этой причине аккумуляторы

сегодня дороги и не совершенны. Одно, несомненно, для консервативной Европы строительство защитной дамбы от подъёма уровня океана обойдётся дороже, чем все энергосберегающие технологии вместе взятые.

### **Легковые автомобили**

Итак, как сказано выше, транспортным эталоном стал легковой автомобиль массой 1,5 тонны и  $K=20$ . Его главным недостатком является малая весовая отдача  $VO < 0,25$ , которая значительно уменьшает экономичность. Проанализируем причины этого положения длящегося на протяжении целого века.

1. С момента своего появления автомобили несли на себе элементы технологии «чугунного века», а чугун – материал с низкой удельной прочностью и неудовлетворительной удельной жесткостью.
2. Переход в 40е годы с рамной конструкции на несущий кузов несколько снизил массу легковых машин, но не в полной мере. Ни алюминий, дающий большую удельную устойчивость панелей, ни стеклопластик с его фантастической прочностью и низкой исходной стоимостью не сделали кузов существенно легче.
3. При том же весе, двигатели становились мощнее, подвеска жестче, скорость больше.

Именно все возрастающая скорость – основная причина большой массы легковых автомобилей. Автомобиль опирается вовремя движения на колёса, другой опоры у него нет и нет других способов курсовой стабилизации, кроме воздействия колёс на дорожное полотно. И если вдруг возникают «запутанные» аэродинамические силы, то обеспечить надёжный контакт с дорогой, не увеличивая аэродинамического сопротивления можно за счет гравитации. Плохо не то, что европейские конструкторы автомобилей понимают всё это и продолжают наращивать массу, плохо то что хозяева американских автоконцернов вообще ничего не понимают, а выручку от продаж расходуют на рекламу «Американской мечты». В этом случае мы наблюдаем превосходство законов маркетинга над физическими. Тот факт, что тяжелые машины дают дополнительную нагрузку на окружающую среду никого не волнует. Причина в одном, люди хотят ездить быстро.

Логично предположить, что проблемы скорости надо решать с помощью аэродинамики. Пример неправильного решения – антикрыло. Оно увеличивает прижимную силу по вертикальной оси, а нужны восстанавливающие аэродинамические силы по горизонтальной оси. Правильное решение – киль на хвостовой балке, как у самолёта или как у вертолёта. Но хвостовая балка вряд ли приживётся на автомобилях. Двукратное увеличение длины обычного седана совсем за пределами моды.

Хвост может быть на летающих авто, речь о которых пойдёт ниже. Кто помнит американские автомобили 50х. Да, там были бутафорские перья на крыльях. Их аэродинамическая эффективность весьма сомнительна, даже при высоте полметра. Для создания аэродинамических сил на любых скоростях на перьях нужны электродвигатели с воздушными винтами. Если на левом крыле винт работает в режиме потребления, а на правом генерирует мощность, передавая её левому двигателю - это будет означать возникновение крутящего момента вправо. Перебрасывая мощность с крыла на крыло можно управлять курсом не только автомобиля, но и самолёта. Система, кстати чрезвычайно полезная: помогая при разгоне, она «отбирает избыточную мощность» от задних колёс и прижимает передок. При реверсивном торможении нагружаются задние колёса. Почему в авиации такой способ не применяется? Ответ в главе дирижабли ☹. Но не будем о грустном, отметим, что это техническое решение просто открывает дверь в светлое будущее автомобилей с кузовом седан.

Небольшое отступление. На примере курсовой стабилизации видно, как одним решением можно уйти сразу от многих проблем – это «как одним выстрелом убить нескольких зайцев». Везение, скажете Вы и будете абсолютно правы. Пара-тройка таких везений и Ваш автомобиль будет недостижим для конкурентов. Тем более, когда все делают абсолютно одинаковые автомобили (разные марки на одних платформах), их и покупать перестают одновременно.

Итак, наша цель экономичность, а у неё 3 составляющие: К, КПД и ВО. Помните американский фильм «Каскадёры», там парень носом открывал банки с пивом. Напомню, тогда они были из нержавеющей стали, а сейчас из алюминия. Возьмите банку в левую руку ☺. Нет, носом открывать не надо, надо просто понять, что содержимое банки дороже этого великолепного клочка алюминия. А теперь представьте, что Ваша жизнь имеет цену пива по Вашему весу ☹. Но когда Вы сядете в блестящий алюминиевый автомобиль, даже при Вашей пивной стоимости, автомобиль будет дешевле ☺! Это надо уметь делать – это возможно сделать. Серьёзно взвесив банку с пивом и содержимое, после деления  $M_n/M_n + M_b$  получим ВО. Современному автомобилю очень далеко до этого показателя, но стремиться к нему надо. Пятиместный седан имеет грузоподъёмность около 600 кг, сам должен иметь массу не более 300 кг. По правилам дорожного движения – это мотоцикл. Как было сказано выше, аккумуляторы вместе с электромоторами легче и мощнее ДВС. Для поддержания постоянной скорости 72 км/ч мощность ДВС ничтожна. Так пускай он к седану идёт опцией в чемодане. Большинство владельцев может удовлетвориться дальностью поездки на одной электрозаправке в 400 км. Итак, распределим массу по агрегатам: 100 кг кузов, 100 кг аккумулятор и двигатели, 100 кг шасси. Кто-то воскликнет, не может быть, потому, что такого не может быть никогда. На что автор этих

строк скажет: «Ничего особенного, даже для алюминия, делал и полегче!». Правда, такому в мировой Высшей школе не учат, да только у всех их учебников «уши из 1936 года растут» ☺. Сосчитаем экономичность седана на электроприводе:

$$\mathcal{E} = 20 \cdot 0,8 \cdot 0,67 \approx \underline{10}$$

Получается, что в будущем седан может быть в 5 раз дружелюбнее к природе, чем сегодня. А каковы его возможности, может такой, экологически зажатый автомобиль никому не нужен?

1. Начнём с мощности – 200 кВт с литийнанофосфатных аккумуляторов передаются на 8 активных колёс и два толкающих винта. С одним водителем ускорение на скорости 20 м/с достигнет  $a=P/m$ , где  $P=N/V=160 \text{ кВт} / 20 \text{ м/с}=8 \text{ кН}$ ; тогда  $a=P/m = 8 \text{ 000Н} / 400 \text{ кг}=20 \text{ м/с}^2$  или  $2g$ . Кто не понял – это где то в районе полторы секунды до сотни. Правда с полной нагрузкой разгон до 100 км/ч займёт добрые 4 секунды, к тому же пассажиров в салоне удивлять не этично.
2. Что может быть лучше, чем 4x4 – правильно 8x8 с гладким брюхом. Зачем гладкое брюхо и герметичные двери? А плавать как? Вместо гребного винта вполне достаточно двух воздушных. Нечего на рыбалке рыбу гребными винтами пугать. Понятно, что люк в крыше не просто опция – это первая необходимость для рыбака.
3. Попарное расположение колёс друг за другом, позволяет надевать на них гусеницы и штурмовать снежную целину, да и по воде на гусеницах быстрее.
4. В северных широтах не обойтись без опции «ДВС в чемодане», который не только обогреет салон и аккумуляторы, но и подзарядит их.
5. Особые возможности представляет конструкция из тонкостенных сэндвичпанелей с сотовым наполнителем для безопасности пешеходов, задача «заострённого» носа не только улучшить аэродинамику, но и перевести лобовой удар в касательный.
6. Безопасность пассажиров и водителя обеспечивается шеститочечными ремнями, и контурами безопасности из высокомодульного композита, интегрированными в дверные проёмы и водительскую спинку.
7. Стоит особо отметить, что вся идеология легкового автомобиля должна строиться на его эксплуатации при температурах в районе  $-50^\circ\text{C}$ , тогда при  $+50^\circ\text{C}$  пригодятся теплоизолирующие свойства конструкции и надёжность системы кондиционирования.

Это полуфантастическое описание легкового автомобиля будущего может стать реальностью уже в ближайшие 10 лет.

## Пассажирские и транспортные самолёты

Если современные легковые автомобили гольфкласса - твёрдые двоечники, то гражданские самолёты в производственной линейке Boeing & Airbus даже современными назвать нельзя. Это как на автомобиль "Победа" поставить дизельный двигатель, вместо лампового приёмника установить GPS-навигатор и руль из приличной пластмассы с гидроусилителем. На первый взгляд, вроде всё нормально. Но как "Победа" отличается от описанного выше автомобиля, так Боинги и Аэробусы должны отличаться от самолёта отвечающего требованиям сегодняшнего дня.

Четверть века назад казалось, что такие самолёты вот-вот появятся. 23 декабря 1986 года на авиабазе Эдвардс в США после кругосветного перелёта без дозаправки приземлился самолет «Вояджер» конструкции Берта Рутана. Полёт продолжался 9 суток. Конструкция планера целиком была выполнена из углеволоконного композита. Весовая отдача достигала 0,83; качество 55 кпд 0,23.

$$\text{Э} = K \cdot \text{кпд} \cdot \text{ВО} = 55 \cdot 0,23 \cdot 0,83 = \underline{10,5}$$

«Вояджер» без особых натяжек можно считать транспортным самолётам. Это летающий танкер. До сих пор ни одна авиафирма не создала ничего подобного.

В 2006 году начал полёты «самый экономичный» А380.  
 $\text{Э} = 10 \cdot 0,4 \cdot 0,64 = \underline{2,56}$

А380 сделан из композитов, но толку от этого мало.

Для понимания того, что в самолётах хорошо и что плохо, разберемся, как возникает подъёмная сила  $Y$  и откуда берётся сопротивление воздуха  $X$ . Напомним - самый важный критерий  $K=Y/X$ .

Подъёмная сила  $Y$  возникает за счет преобразования воздушного пространства. Перед крылом самолёта воздух неподвижен, крыло рассекает воздушное пространство так, что воздух за крылом отклоняется вниз. При этом возникает сила, направленная в противоположную сторону (вверх). Вывод: невозможно получить силу, не изменив направление и скорость воздушного потока.

Более тонко возникновение  $Y$  можно объяснить действием центробежных сил при криволинейном течении. Над верхней частью крыла воздух течет по дуге. Причем у передней кромки кривизна потока больше, чем по центру. Поэтому, подъёмная сила держит крыло за его переднюю кромку, стараясь отогнуть её вверх, что очень нежелательно. Но самое интересное – это взаимодействие отброшенного за крылом потока с неподвижным окружающим воздухом. При большом размахе  $L$  и малой хорде крыла  $b$ , а их отношение это важнейший авиационный критерий (Удлинение  $\lambda=L/b$ ), отклонённый поток встречает достойное сопротивление неподвижной воздушной массы и тормозится. При этом под крылом

возникает сила, выдавливающая воздух вперёд, навстречу набегающему потоку. Деваться этому воздуху некуда, и он перетекает с нижней поверхности крыла на верхнюю. В результате образуется центробежная сила, направленная по полёту (тяга). Вот почему все передние кромки крыльев закруглены. Получается, что чем больше удлинение, тем большую часть в балансе всех сил  $X$  составляет тяга по передней кромке. Общее сопротивление уменьшается. Другими словами, с ростом удлинения будет увеличиваться качество. Качество крыла всегда меньше  $\pi \cdot \lambda$ . Самолёт имеет дополнительное сопротивление,  $K \approx 1,5\lambda$ . Такое качество достигается, как говорят, «на наивыгоднейших углах атаки».

Естественно, когда воздух за крылом меняет направление незначительно – при отвесном пикировании или состоянии невесомости, а также при больших скоростях на малых высотах, как говорят «на малых углах атаки» Качество значительно уменьшается и коммерческой авиации такие режимы не интересны.

Теперь о сопротивлении воздуха. Прошли времена, когда в силу необходимости на самолёт могли установить плохо обтекаемые элементы. Не смотря на этот факт, современная авиация всё ещё несовершенна. Даже самая гладкая поверхность тормозит воздушный поток. Путь один – уменьшение площади поверхности (смачивания). Первое, что бросается в глаза – огромное вертикальное оперение (киль). Оно реально тормозит самолёт, увеличивает расход топлива, уменьшает полезную нагрузку. Интересно, скажете Вы, у птиц вертикального оперения не было даже на ранних этапах эволюции. Верно, у птиц всегда были мозги. Птица знает, сколько мощности надо добавить каждому крылу для выполнения полёта без бокового скольжения. «Конструкторы» наличие кия аргументируют безопасностью, дескать, заменять столь ответственную часть компьютером и электромоторами крайне неразумно – это увеличивает риск для пассажиров. Послушаешь умников, и всё у них гладко: но попал самолёт в облако – киль отработал неэффективно, а перебросить мощность с крыла на крыло самолёт не может. Мы живём в 21 веке, и пренебрежение возможностями компьютеров уже создает дополнительный риск. Для уменьшения сопротивления фюзеляжа можно уменьшить его площадь, одновременно увеличив объём кабины. Ещё К.Э. Циолковский в своих аэродинамических опытах показал, что наименьшим сопротивлением при заданном объёме обладает веретенообразная форма с соотношением длины к диаметру около 3,5. Пузатым получается оптимальный самолёт! Так почему нет таких? Ответ: цилиндрическая поверхность технологичней, её легко модифицировать, добавляя секции. А то, что при аварийной посадке возрастает риск разлома кабины на куски, конструкторы по скромности умалчивают. Говорят, что оптимальная форма фюзеляжа плохо komponуется с крылом. Это не совсем

так, с крылом большого удлинения широкий фюзеляж хорошо komponуется. А крыло с низким качеством вообще не нужно.

Так что ограничивает удлинение крыла? Где главное препятствие на пути повышения качества самолётов, или что мешает придать самолётам новый внешний вид? Единственное ограничение – прочность материала, из которого изготовлен самолёт. Именно материал и определяет внешний вид самолёта. Для алюминиевых сплавов оптимальный внешний вид коммерческого самолёта был сформирован в США в середине 30х годов прошлого века. С небольшой поправкой на реактивные двигатели, форма самолёта DC-3 дошла до наших дней. Современные мощные двигатели позволяют заливать в крыло много топлива, по этой причине самолёты летают выше дальше и быстрее. А вот стали они экономичней? Нет, не стали! И не станут никогда, если не будет создана новая оптимальная форма под высокопрочные и сверхжесткие углеволоконные композиты. Получается парадокс, новые материалы есть, но новых самолётов нет.

Теперь о весовой отдаче. Чем материал легче, тем легче получится вся конструкция. Но дело не только в материалах. Важны конструктивные принципы, по которым создается и эксплуатируется самолёт. Можно уменьшить запас прочности и одновременно уменьшить давление в кабине. Возникает риск разгерметизации или просто кому-то не хватает кислорода. Проблему решаем индивидуальными кислородными масками. Они мало весят, зато металл обшивки тоньше, и экономичность самолёта возрастает. Есть радикальные пути. Переход на сверхзвук считался перспективным: экономичность двигателей резко возрастает, крыло малого удлинения даёт хорошую весовую отдачу, про качество «забыли». Результат - полный провал затеи. Но есть и обратный пример – биплан О.К. Антонова Ан-2. Очень крепкий самолёт, но благодаря бипланной коробке достаточно лёгкий. На момент создания (конец 40х) уже считался устаревшим, ещё бы, технология 30х годов, а идеология 20х – время царства бипланов. Ни один вид техники, кроме Ан-2 не выдерживал эксплуатации в условиях советского сельского хозяйства. Ан-2 выпускался серийно весь послевоенный советский период. Не прибыльный и не убыточный Ан-2 эксплуатируется уже более 60 лет. Такое впечатление, что за бипланами будущее.

Можно сэкономить на шасси, кто сказал, что оно нужно на самолёте. Пускай приёмная тележка подъезжает под самолёт при посадке и разгоняет его при взлете. Для современной электроники такая автоматическая стыковка – не проблема. Самолёт будет стоить дешевле, а пользование тележкой кратковременное. Большую часть времени самолёт находится в воздухе. Шасси на аэродромах может быть меньше чем самолётов в воздухе. Если боковую полосу безопасности поддерживать в хорошем состоянии, будущие брюхатые самолёты смогут садиться на неё без повреждений. Правда их потом придется грузить на тележки, но это уже дело техники.

## Суда на подводных крыльях

Когда в СССР в конце 60х на реках появились «Метеоры» и «Кометы» казалось, вот оно будущее. Люди очень радовались, но не все. Старые колёсные пароходы прекратили свои рейсы. Как плоскодонные пароходы с кпд всего 5% могли конкурировать с новейшими дизелями? Колеса имеют кпд в 2 раза больше гребного винта и качество водоизмещающего судна при равной массе в 5 раз больше «метеорного». Плоское дно исключает повреждения при попадании колёсника на песчаную мель. Но самое главное, что билет на крылья не давал право бесплатного провоза багажа. Доставлять в города продукцию сельского хозяйства регулярными речными рейсами стало невозможно. Дорог ещё не было.

Суда на подводных крыльях на крейсерской скорости обладают качеством 10, таким образом, поездка получается в 2 раза дороже, чем на такси, у которого качество 20.

$$\text{Э} = \text{К} \cdot \text{кпд} \cdot \text{ВО} = 10 \cdot 0,4 \cdot 0,25 = \underline{1}$$

Вывод – «Метеоры» нанесли экономике двойной удар.

## Вертолёты

Они пришли на смену патрульным дирижаблям. Для которых требовались дорогостоящие эллинги. Реальная эксплуатация вертолётов оказалась дешевле эксплуатации мелких дирижаблей. Несмотря на хорошую весовую отдачу  $\text{ВО} = 0,5$  у вертолётов совершенно неприемлемое качество - около 2.

$$\text{Э} = \text{К} \cdot \text{кпд} \cdot \text{ВО} = 2 \cdot 0,3 \cdot 0,5 = \underline{0,3}$$

Столь низкий показатель означает практически полную неконкурентоспособность вертолётов. Они нужны сравнительно в редких случаях, а значит наладить их массовое производство в условиях земного шара в мирное время практически невозможно. В результате, вертолёт навсегда останется дорогим транспортным средством.

## Снегоходы

Под снегоходами понимаем любую гусеничную технику. И её главная проблема – сама гусеница. Проблема №2 – рыхлый снег, который кроме гусеницы не приемлет альтернативного движителя. Очень много энергии расходуется на перекачивание мощной эластичной композитной конструкции и уплотнения снега под ней. Итоговая экономичность  $\text{Э} = \underline{0,2}$ . Это ровно в 10 раз хуже легкового автомобиля! Но в условиях пересечённой

местности и небольших расстояний эффективно заменить снегоходы в наше время не может ни одно транспортное средство. В недалёком будущем, конкурировать со снегоходом сможет электромобиль 8x8 обутый в гусеницы. Это снижает качество автомобиля в 10 раз, но экономичный привод и комфортная кабина, несомненно, серьёзный конкурентный аргумент.

### **Универсальные транспортные средства**

К универсальности современных транспортных средств и техники в целом, люди настолько привыкли, что считают легковой автомобиль или сотовый телефон единым целым. На самом деле, первый объединяет в себе тягач и карету, а второй приёмник и передатчик. И никто не говорит в этих случаях, что в результате универсальности мы теряем полезные свойства товара. Поэтому далее речь пойдёт об универсальных транспортных средствах будущего, которые в прошлом не состоялись по техническим или организационным причинам.

### **Дирижабль-вертолёт**

Когда был расцвет дирижаблей, нормальных вертолётных винтов ещё не было. Когда появились композитные безшарнирные вертолётные винты, о дирижаблях только вздыхали. Если говорить строго, то дирижабль без системы эффективных винтов «+Y- Y» не сможет совершить ни безопасной посадки, ни тем более взлёта. До первой мировой войны эти операции совершались с помощью сотен людей на земле. Наземная команда и причальное устройство – это практически в буквальном смысле «Камень преткновения» дирижаблей прошлого. Таким образом, в будущем все дирижабли будут одновременно и вертолётами.

### **Супертанкеры – плавающие города**

В главе «супертанкеры» было предложено разделять корабли на два корпуса надводный и подводный. Веретенообразный подводный корпус имеет минимальное сопротивление, он погружается под воду на глубину достаточную для радикального снижения волнового сопротивления. Малоэтажная надстройка должна возвышаться над водой на несколько метров, обеспечивая недосыгаемость для волн. Плоская городская крыша (верхняя палуба) может быть покрыта солнечными батареями и одновременно служить взлетно-посадочной полосой для летающих

автомобилей. Гаражи для них оптимально располагать прямо в офисах. Таким образом, каждая организация или частное лицо может поддерживать оперативную связь с материком.

В чем смысл плавающего города? Когда можно просто купить билет на самолёт и оказаться в любой точке земного шара. Но за билет надо платить, а в плавающем городе можно устроиться на работу во время рейса. То есть за время путешествия получить деньги или услуги. В большинстве случаев не надо даже брать отпуск на фирме, так как очень много современных специальностей требуют только наличие компьютера и доступа в Интернет. Кроме того, в городе должны быть предприятия лёгкой и пищевой промышленности, больница, школа, магазины. Всё это для того, чтобы путешествие не выключало дни из жизни.

В порту пассажирская и грузовая части разделяются. Пока происходит загрузка нефтью или контейнерами. В плавающем городе на пассажирском причале происходит перекомплектование персонала (жителей).

### **Электровагоны вместо электровозов**

Чем не выгодны локомотивы? Просто это порожняк в оба конца! Вагоны перевозят груз, а локомотив везёт сам себя. Конечно, его масса мала в сравнении с массой всего поезда, в среднем 5%, но это всё равно издержки. Исторически каждый вагон не мог быть паровым! Когда всё стало дизель-электрическим, ещё не было нормальных систем управления. В наше время всё есть. По аналогии с электромобилем вагон может трансформироваться в различные типы, что максимально исключит порожний пробег.

Например: вагон, предназначенный для перевозки сыпучих грузов, может иметь емкость из высокопрочной непроницаемой ткани в которой можно перевозить светлые нефтепродукты. Или стенки вагона будут складываться в платформу и станет возможна перевозка автомобилей или строительных конструкций.

Цель такого подхода - не экономия топлива (железная дорога и так сверхэкономична). Цель - увеличение пропускной способности железнодорожной сети. А топливо может экономить автотранспорт, используя порожние вагоны-трансформеры в качестве континентальных паромов.

### **Электровелосипеды**

Велосипед с комбинированным электроприводом - это совокупность высокоэффективного транспортного средства и спортивного тренажера, на

котором, вне зависимость от дорожных условий, можно моделировать любые физические нагрузки.

Для такого велосипеда не нужна цепь, педали соединены с генератором напрямую, энергия накапливается в аккумуляторе и через транзисторное устройство подаётся на бесколлекторные двигатели в колёса. Моторы могут одновременно быть генераторами и тормозами. Педали крутить вовсе не обязательно, если аккумулятор заряжен.

Велосипед массой всего 16 кг может перевозить до 160 кг ( $VO=0,9$ ) полезной нагрузки, обладает качеством на скорости 20 км/ч около 50, а КПД электродвигателя 0,9. Сосчитаем экономичность  $\mathcal{E}=K \cdot \text{кпд} \cdot VO = 50 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = \mathbf{40}$

Как видим, экономичность сопоставима с электроавтобусом (троллейбусом). Что хуже, чем у речных судов и электропоездов, но лучше любого автотранспорта с двигателями внутреннего сгорания.

Какое количество киловатт-часов надо «залить» в аккумулятор велосипеда для обеспечения пробега 100 км, если масса велосипедиста 84 кг? Качество 50 означает, что при длине горки 100 км её высота будет 2 000 м. Пробег эквивалентен подъёму массы 100 кг на высоту 2 км. Энергия подъёма  $E=m \cdot g \cdot h = 100 \text{ кг} \cdot 9,81 \text{ м/с}^2 \cdot 2000 \text{ м} = 1962 \text{ килоджоуля}$ . В то время как 1 киловатт-час = 1 киловатт • 3 600 секунд = 3 600 килоджоулей,

(1 килоджоуль = 1 киловатт • 1 секунда)

С учётом всех электрических преобразований принимаем  $\text{кпд} = 0,6$  потребуется электрическая работа  $A = 1962 \text{ килоджоуля} / 0,6 = 3270 \text{ килоджоуля}$  (меньше 1 киловатт-часа), что по тарифу для населения за 2009 г меньше **полутора рублей**. Это и есть примерная себестоимость по энергии перевозки человека на электротранспорте между двумя городами удалёнными друг от друга на 100 км.

## Самолёты-амфибии

Это такие динозавры, про которых все забыли, после того как внутри континентов были построены бетонные аэродромы. Но вот как раз в самих этих аэродромах и скрывается угроза для удобного авиационного сообщения.

Причина – аэропорт притягивает инфраструктуру. Население вблизи посадочной полосы растёт. Земля становится дороже настолько, что для аэродрома приходится искать новое место. И так будет продолжаться всегда и везде. Люди будут выдавливать опасные самолёты из своей среды.

Проблема может быть решена только на морском побережье. В конце главы «Пассажирские и транспортные самолёты» говорилось о том, что для дальнейшего повышения коммерческой эффективности самолёт должен избавиться от своего шасси. Теперь представьте, что на побережье у

мегаполиса есть 2 мыса. Расстояние между ними должно быть около двух километров. На это место ставим на якоря стальную ВПП-волнолом, которая может быть одновременно волновой электростанцией. Получается морская бухта. Самолёты совершают взлеты и посадки, используя единственную приёмную тележку на ВПП. Концы полосы притоплены, и в конце пробега приёмная тележка уходит под воду, а самолёт остается наплаву. Далее он идёт к слипу на берегу и выходит на сушу с помощью простой тележки. Которая встречает его под водой и вытягивается на берег обычным тросом. Даже если мегаполис будет наступать на море, засыпая грунтом побережье и увеличивая свою территорию. Аэродром будет ровно настолько отступать.

Из этого проекта понятно, что Самолёту-амфибии в данном случае не нужно не только колёсное шасси, но и редан. Единственное требование - общая герметичность, которая для пластиковых конструкций и проблемой никогда не была!

Вывод: в будущем все самолёты станут амфибиями.

### **Летающие автомобили (Автолёты)**

В главе «Легковые автомобили» полуфантастическое описание седана с принудительной электроаэродинамической курсовой стабилизацией не взято с «чистого листа». На протяжении многих лет автор разрабатывает Автолёт на основе своего биплана большого удлинения. Успешные испытания которого состоялись в 1993 году.

Как и для легкового автомобиля, для Автолёта качество равное двадцати является минимально необходимым. Иначе трудно будет осуществлять межконтинентальные перелёты. Но зачем автомобилям летать через океаны, скажете Вы, главное вылетать из пробок! Конечно, возможно всё. Оставив в стороне морально-этический аспект поведения водителя Автолета, замечу, что качество такого «пробкового» полёта будет значительно меньше, чем у вертолёта. Это означает не просто огромный километровый расход топлива. Это полная неконкурентоспособность с любым транспортным средством в силу получающейся космической цены. Классическая опора на крылья большого удлинения, конечно, делает Автолёт дороже самолёта аналогичного класса, но значительно дешевле вертолёта. А при массовом производстве Автолеты будут дешевле штучных самолётов.

Итак, Автолеты – это самолёты со складывающимися крыльями и приводом на 4 колеса. Причем самолёты очень легкие. Смогут ли они конкурировать с автомобилями? При схожести Автолетов с современными микроавтобусами по основным параметрам К, кпд и ВО, максимальное качество летающих автомобилей с ростом скорости может оставаться практически неизменным. Просто надо набирать высоту и сохранять углы

атаки в выгодном диапазоне. Предположение о том, что для увеличения скорости в 2 раза необходимо увеличить высоту на 10 км не является грубой ошибкой. Тогда имея экономичную скорость у земли 150 км/ч, на высоте 10 000 м будем иметь 300 км/ч, а на высоте 20 000 м – 600 км/ч и более при запасе мощности двигателя. Стоит отметить, что эшелон 20 000 м никем не занят, и его вполне можно отдать летающим автомобилям. Итогом применения автолётов в качестве альтернативы скоростным автомобилям станет не только экономия топлива, но и повышение безопасности на высоких скоростях.

До 150 км/ч ехать по земле ещё выгодно, но для достижения большей скорости, альтернативы полёту не существует. И нет особой разницы, на базе какой конструктивной идеи будут создаваться Автолеты. Дело не в частном случае, просто за летающими автомобилями будущее. В это трудно поверить, но кто мог представить всеобщую мировую сотовую телефонизацию 20 лет назад. Только те люди, которые знали тонкости распознавания электромагнитных волн и возможности компьютеров. Таких людей было очень мало – единицы. Сегодня плодами их труда пользуются миллиарды.