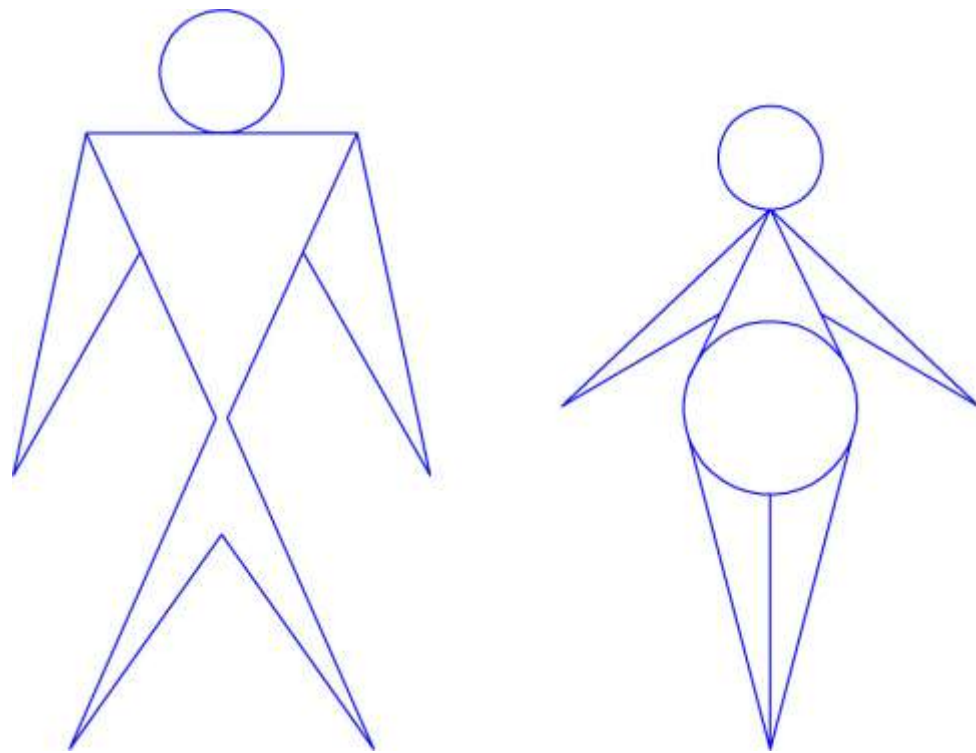


От идеализации конструкции планера к реализации авиационной продукции

1 Идеализация древности

Для человека свойственно абстрактно мыслить, то есть упрощать реальность. Сознвая, что в жизни всё не так хорошо, как могло бы быть, человек идеализирует окружающие объекты. Если идеалы фантазёров находят поддержку в обществе, то начинается коллективная работа по переустройству, как окружающего мира, так и самого человека (его внешнего вида и культуры).

На уровне первобытной культуры идеалы были схематичны:



2 Среднестатистическая идеализация

В Древней Греции появилась среднестатистическая идеализация формы человеческого тела. Примером могут служить скульптуры Аполлона и Венеры. Идея получила развитие в Эпоху Возрождения. На современном уровне считается нормальным соответствовать идеалам с помощью физической культуры и пластической хирургии. В технических изделиях, таких как автомобили, самолёты и корабли, также приветствуется среднестатистический подход. То есть изделия похожие на их окружение продаются лучше. Общество считает красивым то, что не слишком отличается от известного. До определённого момента такой подход срабатывает. Но когда внутреннее строение новых изделий очень сильно отличается от обычных, мимикрия начинает мешать наилучшему проявлению

потребительских свойств. Таким образом, переход на новую технологию неизбежно приведёт к изменению внешнего вида привычных для нас предметов.

Поскольку важнейшим свойством конструкционного материала является его прочность, можно предположить, что именно прочность материалов определяет внешний вид машин и механизмов.

Рассмотрим на примере конструкции планера самолета влияние прочностного фактора.

С самых первых авиационных конструкций ощущался сильный «прочностной дефицит». Иначе – первые аэропланы были очень слабыми. Конструктивно малая прочность материалов парировалась преобладанием ферменных конструкций над балочными. Например: на заре авиации преобладали бипланы. Бипланная коробка – это ферма. Её задача уменьшить действие изгибающего момента за счет увеличения строительной высоты. Чем больше высота, тем меньше силы, тем меньше масса конструкции. Даже фюзеляжи имели ферменную конструкцию – не оптимальную с точки зрения аэродинамики (избыточная площадь смачивания для единичного полезного объёма). Благодаря внедрению в авиапромышленность алюминиевого проката, фюзеляж стали делать по типу «полумонокок», а бипланная коробка была заменена кессоном моно крыла. Самолёт стал изготавливаться по единой заклёпочной технологии, хорошо отработанной в паровозостроении.

К 1936 году прошлого века была оптимизирована форма коммерческого самолёта.

Форма DC-3 с небольшими изменениями дошла до наших дней. Она является оптимальной для материалов с нормальной удельной прочностью – 12,5-20 км.

Удельная прочность ограничивает минимальное удлинение герметичного фюзеляжа, и максимальное удлинение крыла и оперения, как следствие, диктует их компоновку, расположение стоек шасси и двигателей.

При переходе на высокопрочные материалы идеальная форма DC-3 уже не сможет себя оправдать.

Например:

- ✓ Увеличив удлинение крыла λ , мы потеряем его объём V_k . То есть при всех прочих равных места для топлива и убранного шасси будет меньше.
- ✓ Сохранив удлинение, мы не сможем увеличить аэродинамическое качество K , значит экономичность самолёта при равном взлётном весе останется на прежнем уровне. Прирост дальности возможен только за счёт увеличения доли топлива во взлётной массе.
- ✓ A380

3 О значимости критериального подхода при создании новой техники

На многие вопросы ответ можно получить двумя способами: методом численного расчёта

или методом сравнения. Например:

взлётную скорость можно рассчитать по известной формуле или сесть в пилотскую кабину самолёта с близкой геометрией и нагрузкой на крыло и засесть скорость в момент отрыва. Кажется что, первый способ и проще и точнее, но точно не известен коэффициент подъёмной силы, во втором случае можно вычислить его реальное эксплуатационное значение.

Или стоимость килограмма авиационной конструкции можно рассчитать, зная стоимость материалов, составив операционный график найти: долю зарплаты, амортизационные отчисления, расходы на содержание зданий, потом всё поделить на массу серии. Статистика показывает, что реальная стоимость многократно превышает расчётную. Так зачем считать?

Просто надо посмотреть «как у людей». В большой выборке количество плюсов и минусов у разных народов оказывается равным.

При прочностных расчетах исходным является разрушаемый образец. Расчет сводится к сравнению изделия с образцом. В конечном случае, разрушаемым образцом становится само изделие. То есть постоянно происходит процесс сравнения – математика отступает на второй план из-за многочисленных неопределённостей. А можно сразу сказать: «Вам не удастся сделать самолёт заданной прочности и размеров грузоподъёмностью в тонну легче двух тонн, так как это никому не удавалось». Конструкторы мыслят критериально и с недоверием относятся к инженерам-изобретателям у которых в «расчётах всё сходится». Конструктор – первое лицо при создании новых изделий полагается на свой созидательный опыт.

Например: есть массовый расклад по биплану 8/М, полагаясь на него, могу предвидеть массы элементов предполагаемого своего самолёта в зависимости от его взлётной массы.

Полная Взлётная	300...400кг	
Часть массы	кг	
Экипаж	160	
топливо	10...100*	*при заливке в кессон
Конструкция	135	Из них: кг
		Бипланная коробка
		стабилизатор
		Хвостовая балка и киль
		кабина
		шасси
		ВМГ

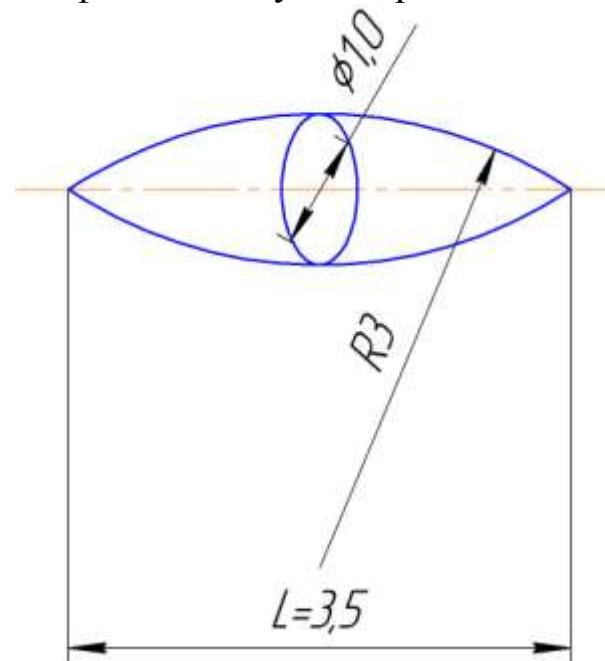
Полагаю, что талант сравнения - это и есть талант созидания. Другими словами, кто хорошо сравнивает, тот хорошо и деньги распределяет.

4 Принципы конструирования планера из высокопрочных материалов

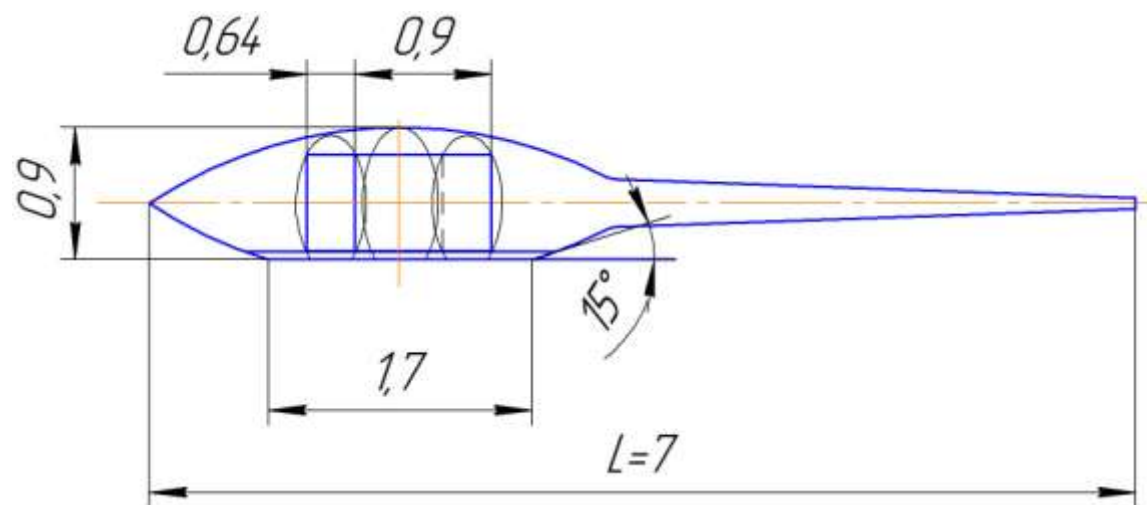
Современные высокопрочные волокна обладают удельной прочностью 150-200 км. Это на порядок больше, чем удельная прочность конструкционных поликристаллических металлов. Более того, современная наука предсказывает дальнейшее увеличение прочности углеродных материалов на основе нанотрубок. То есть, возможна разница в 2 порядка! При формировании нового облика планера, предположим, что материал обладает неограниченной удельной прочностью и модулем упругости. Полезная нагрузка вполне реальная, имеющая единичную массу и объем.

Фюзеляж и оперение

Оптимальной формой фюзеляжа будет веретено с соотношением $L/D=3,5$.



Центр масс совпадает с геометрическим центром, а парировать переднее расположение центра давления можно хвостовым оперением на балке длиной $l=L$. Сразу стоит оговориться, что стабилизация по тангажу отличается от курсовой. Первая должна учитывать изменения центровки, а вторая разность сопротивлений крыльев при манёврах. Поэтому, плечо и площадь горизонтального оперения можно выбирать по компоновочным соображениям, получив соответствующее ограничение по центровке. Курсовую стабилизацию обеспечим «птичьим методом», который будет рассмотрен далее. Но воздух не единственная среда обитания самолёта, есть ещё аэродром – раздел сред. Граница раздела - плоскость. Значит, брюхо веретена фюзеляжа должно быть плоским. Относительная площадь плоскости выбирается из условия безотрывности обтекания и площади пола грузовой кабины.



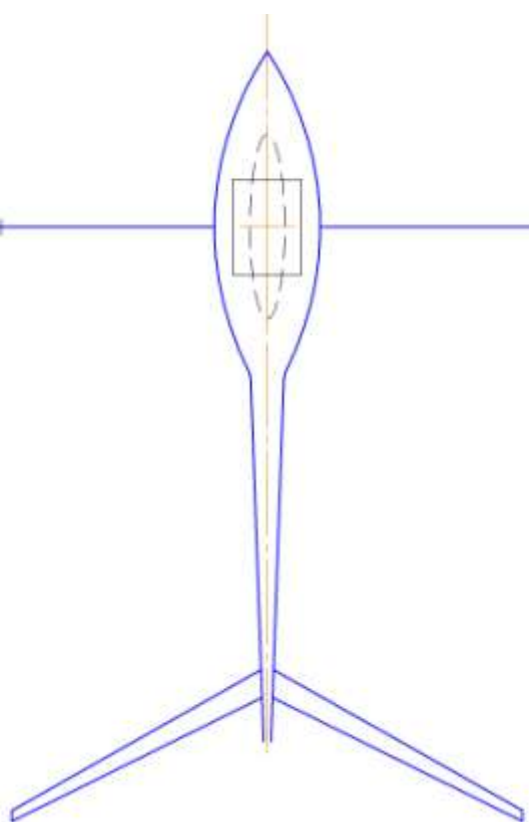
Крыло

Крыло – самая дорогая часть самолёта (кроме полезной нагрузки). Крыло определяет конкурентоспособность и ограничивает ресурс в целом. Площадь крыла S задает взлётную скорость. Увеличение размаха L_k при $S = \text{const}$ приводит к возрастанию массы крыла. Но в нашем идеальном случае $L_k \rightarrow \infty$. Из этого следуют 2 вывода

- 1 $V_k \rightarrow 0$.
- 2 Крыло биплана и крыло моноплана по V_k не отличаются.

Переходя от идеального крыла к конструкции из углеродных волокон $\lambda=30$ можно отметить, что:

- ✓ интегрировать в крыло шасси не имеет смысла,
- ✓ силовая установка на крыле может оказаться не оптимальной по сравнению с пилонным расположением на фюзеляже,
- ✓ топливные баки в крыле имеют вспомогательное значение.
- ✓ Для моноплана предпочтительным является прямое крыло
- ✓ Среднепланная компоновка является предпочтительной по причине превосходства диаметра фюзеляжа над хордой крыла
- ✓ Для биплана допустима стреловидность (по условию расположения силового шпангоута-центроплана перед грузовой кабиной)



для моноплана

$$M = \kappa \cdot (mg/2) \cdot (L_{\text{консоли}}/2) = 6\,400\,000 \cdot 9,81/2 \cdot 70/2 = 412 \cdot 10^6 \text{ (Н}\cdot\text{м)}$$

$$\delta_{\text{max}} = M/Wx = 6 M/bh^2 ;$$

$$b = 6M/(\delta_{\text{max}} \cdot h^2) = 6 \cdot 412 \cdot 10^6 \text{ (Н}\cdot\text{м)} / (1250 \cdot 10^6 \text{ (Н/м}^2) \cdot (1,13)^2 \text{ (м}^2)) = 1,55 \text{ (м)}$$

$$m = b \cdot h \cdot L_{\text{консоли}} \cdot \rho_{\text{угля}} = 1,13 \cdot 1,55 \cdot 70 \cdot 1800 = \mathbf{221\,000 \text{ (кг)}}$$

Вывод: Закон квадрата-куба ограничивает грузоподъемность и качество моноплана.

для массы 400кг (M1:10)

$$M = \kappa \cdot mg/2 \cdot L_{\text{консоли}}/2 = 6\,400 \cdot 9,81/2 \cdot 7/2 = 41,2 \cdot 10^3 \text{ (Н}\cdot\text{м)}$$

$$\delta_{\text{max}} = M/Wx = 6 M/bh^2 ;$$

$$b = 6M/(\delta_{\text{max}} \cdot h^2) = 6 \cdot 41,2 \cdot 10^3 \text{ (Н}\cdot\text{м)} / (1250 \cdot 10^6 \text{ (Н/м}^2) \cdot (0,113)^2 \text{ (м}^2)) = 0,0155 \text{ (м)}$$

$$m = b \cdot h \cdot L_{\text{консоли}} \cdot \rho_{\text{угля}} = 0,113 \cdot 0,0155 \cdot 7 \cdot 1800 = \mathbf{22,1 \text{ (кг)}}$$

Вывод для идеального газа: Чем меньше ЛА, тем выше его весовая отдача.

для биплана

$$M = \kappa \cdot mg/2 \cdot L_{\text{консоли}}/2 = 6\,400\,000 \cdot 9,81/2 \cdot 70/2 = 412 \cdot 10^6 \text{ (Н}\cdot\text{м)}$$

$$P = M/H_{\text{строит}} = 412 \cdot 10^6 \text{ (Н}\cdot\text{м)} / 7,5 \text{ (м)} = 55 \cdot 10^6 \text{ (Н)}$$

$$\delta_{\text{max}} = P/(h_{\text{строит}} \cdot b_1);$$

$$b_1 = P/(h_{\text{строит}} \cdot \delta_{\text{max}}) = 55 \cdot 10^6 \text{ (Н)} / (0,375 \text{ м} \cdot 1250 \cdot 10^6 \text{ (Н/м}^2)) = 0,12 \text{ (м)}$$

$$q = \kappa \cdot mg/2L = 6\,400\,000 \cdot 9,81/300 = 78,5 \cdot 10^3 \text{ (Н/м)}$$

$$M_2 = q \cdot L_2 \text{ консоли}^2 / 2 = 78,5 \cdot 10^3 \cdot 5,33 \cdot 5,33 / 2 = 1,12 \cdot 10^6 \text{ (Н}\cdot\text{м)}$$

$$b_2 = 6M_2/(\delta_{\text{max}} \cdot h_{\text{строит}}^2) = 6 \cdot 1,12 \cdot 10^6 \text{ (Н}\cdot\text{м)} / (1250 \cdot 10^6 \text{ (Н/м}^2) \cdot 0,375^2 \text{ (м}^2)) = 0,038 \text{ (м)}$$

$$m_2 = b_2 \cdot h_{\text{строит}} \cdot 2L \cdot \rho_{\text{угля}} = 0,038 \cdot 0,375 \cdot 2 \cdot 150 \cdot 1800 = \mathbf{7,7 \cdot 10^3 \text{ (кг)}}$$

Проверочный расчёт на устойчивость первого пролёта $L_1 = 12,15 \text{ м}$,

Число полуволн $n = 2$; $b = 0,2 \text{ м}$

$$P_{\text{крит}} = \pi^2 \cdot n^2 \cdot E \cdot Jx/L_1^2 = \pi^2 \cdot 2^2 \cdot 250\,000\,000\,000 \cdot (0,2 \cdot 0,375^3/12) / 12,15^2 = \mathbf{58 \cdot 10^6 \text{ (Н) O.K!}}$$

$P_{\text{крит}} > P$

$$m_1 = b_{\text{уст1}} \cdot h_{\text{строит}} \cdot 2L_{\text{консоли}} \cdot \rho_{\text{угля}} = 0,16 \cdot 0,375 \cdot 2 \cdot 70 \cdot 1800 = \mathbf{15,1 \cdot 10^3 \text{ (кг)}}$$

Проверочный расчёт на устойчивость первой стойки $H_1 = 7,5 \text{ м}$

Число полуволн $n = 2$; $b = 0,2 \text{ м}$; $h = 0,2 \text{ м}$; $P_c = 400\,000 \cdot 9,81 \cdot 3 = 12\,000\,000 \text{ Н}$

$$P_{\text{крит}} = \pi^2 \cdot n^2 \cdot E \cdot Jx/L_1^2 = \pi^2 \cdot 2^2 \cdot 250\,000\,000\,000 \cdot (0,2 \cdot 0,2^3/12) / 7,5^2 = \mathbf{23 \cdot 10^6 \text{ (Н) O.K!}}$$

$$m_c = b_c \cdot h_{\text{строит}} \cdot 5H_{\text{строит}} \cdot \rho_{\text{угля}} = 2 \cdot 0,2 \cdot 5 \cdot 7,5 \cdot 1800 = \mathbf{2,7 \cdot 10^3 \text{ (кг)}}$$

$$m_{\text{подкосов}} = b_n \cdot h_{\text{строит}} \cdot 5L_{\text{строит}} \cdot \rho_{\text{угля}} = 0,2 \cdot 0,2 \cdot 5 \cdot 15 \cdot 1800 = \mathbf{5,4 \cdot 10^3 \text{ (кг)}}$$

Итого:

$$M = m_1 + m_2 + m_c + m_{\text{подкосов}} = \mathbf{15,1 \cdot 10^3 + 7,7 \cdot 10^3 + 2,7 \cdot 10^3 + 5,4 \cdot 10^3 = 31 \cdot 10^3 \text{ (кг)}}$$

Итого: по массе силового набора углепластиковая бипланная коробка легче монокрыла в 7 раз – **бипланная коробка как бы отодвигает действие Закона квадрата-куба**

Вывод: благодаря бипланной коробке мы можем сэкономить на материале, и тем самым значительно снизить себестоимость планера, так как его цена – функция массы.

6 Мероприятия по повышению эксплуатационной эффективности

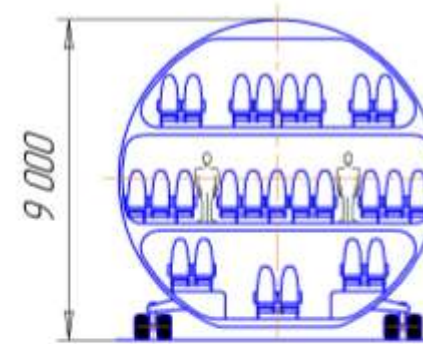
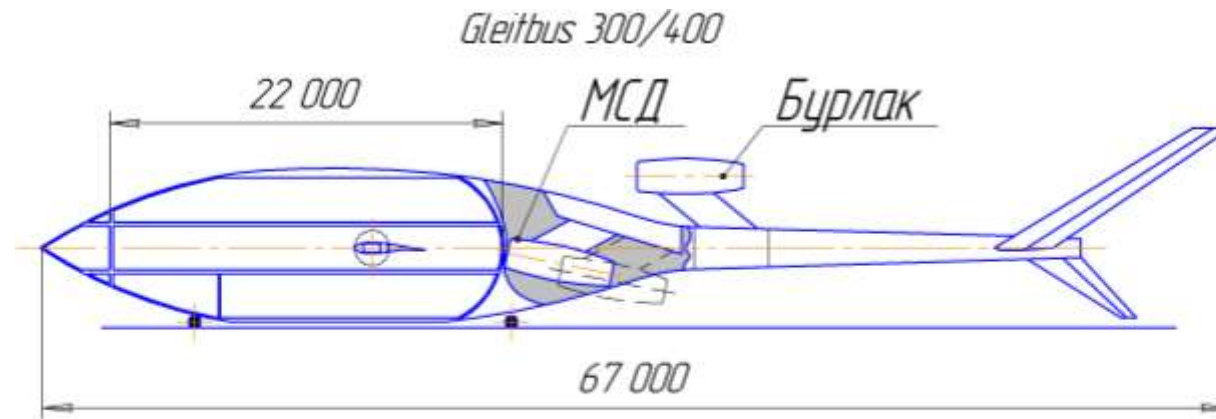
- Отказ от вертикального оперения в пользу переброски энергии с крыла на крыло (птичий метод)
- Отказ от шасси – переход на использование активной платформы
- Использование дизельных ВСУ
- Полёты строем для лёгких ЛА
- Переход на безопасное водоугольное топливо на новом типе ТВД для тяжелых ЛА

7 Рентабельное производство, методы снижения себестоимости и торговая реализация ЛА

По аналогии с производством автомобилей, можно предположить, что производство будет рентабельным тогда, когда программа годового выпуска данного типа ЛА достигнет уровня 50тыс. в год. На первый взгляд, кажется, что такого рынка быть не может. Но население земного шара богатеет – этот факт происходит на наших глазах. За счёт Китая и Индии через 10 лет число людей с годовым доходом \$1млн может увеличиться вдвое, и достигнуть 2млн человек. Это потенциальные частные покупатели ЛА. Но что мировая авиационная промышленность может им предложить? Практически ничего. В этом случае обычно ссылаются на законодательства, нет законов на широкое использование малой авиации. Но история показывает, что для автомобилей и сотовых телефонов законы препятствием не стали. Проблема решается территориально – автомобиль под окном, телефон в кармане. Самолёт только тогда станет востребованным, когда сможет заменить собой автомобиль. Пусть не на 100%, но достаточно для удобного использования в городе. Почему пользуются популярностью внедорожники? Люди платят за дополнительные возможности, взамен получают имидж – «пыль в глаза соседям». Совсем не важно, что большинство внедорожников не видели грязи, важно то, что они большие и дорогие.

Так и Автолёты должны быть большими (в рамках правил), а их реальную себестоимость мало кто должен знать. Для большей части населения авиация – туман-дурман. В том смысле, что не все владельцы самолётов летают на них, не все владельцы яхт мореходы. Они владеют тем, чего нет у соседей, и гордятся этим. Таким образом, рынок Автолётов предопределён.

Дополнение – пример расчета 300-местного реактивного самолёта



Размах крыла	90 000
Площадь крыла	270м ² , удлинение - 30
Аэродинамическое качество	K ^{max} - 40
Взлётная масса	90 тонн
Весовая отдача	0,33
Удельный расход топлива при дальности 10 000км	0,9 $\frac{кг \cdot чеп.}{100км}$
Удельный расход топлива при дальности 5 000км	0,7 $\frac{кг \cdot чеп.}{100км}$
Взлётно-посадочная скорость без закрылков	260км/ч
Длина разбега 1 900м, дистанция до набора 50м	2 400м
Крейсерская скорость полёта	650км/ч

$m_{взл.} = 90\,000\text{кг}$
$L_{\text{размах крыла}} = 90\text{м}$
$L_{\text{консоли}} = 40,5\text{м}$
$H_{\text{строит.}} = 0,5\text{м}$
$b_{\text{полки}} = 1,0\text{м}$
запас $k=4$
$\sigma_{\text{max}} = 1,25\text{гПа}$
$\rho_{\text{угля}} = 1\,800 \frac{кг}{м^3}$
$h_{\text{полки}} = ?$
$m_{\text{крыла}} = ?$

Прочность крыла на изгиб

$$M = k \frac{m g}{2} L_{\text{консоли}} / 2 = 4 \cdot 90\,000 \cdot 9,81 / 2 \cdot 40,5 / 2 = 35,76 \cdot 10^6 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

$$P_{\text{сила в полке}} = M / H_{\text{строит.}} = 71,52 \cdot 10^6 \text{ (Н)}$$

$$\sigma_{\text{max}} = P / (b_{\text{полки}} \cdot h_{\text{полки}});$$

$$h_{\text{полки}} = P / (b_{\text{полки}} \cdot \sigma_{\text{max}}) = 0,057 \text{ (м)}$$

$$m_{\text{крыла}} = 2b_{\text{полки}} \cdot (h_{\text{полки}} / 2) \cdot L_{\text{размах крыла}} \cdot \rho_{\text{угля}} = 2 \cdot 0,0285 \cdot 90 \cdot 1\,800 = 9\,234 \text{ (кг)}$$

Прочность фюзеляжа на избыточное давление

$$\text{укладка нормально к полёту: } h_1 = \frac{R_{\text{вн.}} Q_{\text{изб.}}}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{4,5 \cdot 200\,000}{1\,250 \cdot 10^6} = 0,72 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

$$\text{укладка вдоль полёта: } h_2 = h_1 / 2 = 0,36 \cdot 10^{-3} \text{ (м)} \quad h = h_1 + h_2 = 1,1 \text{ (мм)}$$

$$m_{\text{фюз.}} = L \cdot 2 \cdot l \cdot R \cdot h \cdot \rho_{\text{угля}} = 22 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 4,5 \cdot 0,0011 \cdot 1800 = 1\,232 \text{ (кг)}$$

$L = 22\text{м}$
$R_{\text{фюз.}} = 4,5\text{м}$
$Q_{\text{изб.}} = 200\text{кПа}$
$h = ?$ $m_{\text{фюз.}} = ?$

26.09.09 П.Г. Антипов