

## Перспективы развития транспортных самолетов

Арутюнов А.Г.<sup>1\*</sup>, Дыдышко Д.В.<sup>1\*\*</sup>, Ендогур А.И.<sup>2\*\*\*</sup>,

Кузнецов К.В.<sup>1\*\*\*\*</sup>, Толмачев В.И.<sup>1\*\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Авиакомпания «Волга-Днепр», ул. Усачева, 35с1, Москва, 119048, Россия

<sup>2</sup>Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

\*e-mail: [artem.arutyunov@volga-dnepr.com](mailto:artem.arutyunov@volga-dnepr.com)

\*\*e-mail: [danil.dydyshko@volga-dnepr.com](mailto:danil.dydyshko@volga-dnepr.com)

\*\*\*e-mail: [endogur@yandex.ru](mailto:endogur@yandex.ru)

\*\*\*\*e-mail: [konstantin.kuznetsov@volga-dnepr.com](mailto:konstantin.kuznetsov@volga-dnepr.com)

\*\*\*\*\*e-mail: [Viktor.Tolmachev@volga-dnepr.com](mailto:Viktor.Tolmachev@volga-dnepr.com)

### Аннотация

В статье представлены основные характеристики современных и перспективных транспортных самолетов (ТС). Проанализированы данные по некоторым техническим характеристикам транспортных и пассажирских самолетов (ПС). Проведен обзор основных тенденций развития ТС в различных областях, таких как аэродинамика, силовые установки, конструкция планера и т.п. Определены направления развития ТС на среднесрочную и долгосрочную перспективы.

**Ключевые слова:** перспективный транспортный самолет, грузовая рампа, грузовая кабина, уникальный негабаритный груз, генеральный груз, рамповый грузовой самолет.

### **Введение**

В работе [1] представлена классификация транспортных самолетов, которая исторически сложилась в процессе их развития. Особенности конструкции и эксплуатационные характеристики ТС неразрывно связаны с грузами, для которых они предназначены. Если исключить из рассмотрения пассажирские перевозки, то авиационные грузы можно разделить на *генеральные* (ГГ, general cargo) и *специальные* (СГ), рис.1.

К ГГ относятся мелкий груз, перевозимый обычно «в навал», а также стандартизованные авиационные паллеты (поддоны) и контейнеры (в иностранной терминологии - unit load device, ULD, см. рис.2). Их максимальные габариты ограничены  $Ш \cdot В \cdot Д = 2.44 \cdot 3 \cdot 6.06$  м, а масса единицы не превышает 20 т. Для перевозки ГГ применяются так называемые фрейтеры - грузовые версии пассажирских самолетов, имеющие хорошую топливную эффективность и низкие эксплуатационные расходы, но требующие, однако, развитой аэродромной инфраструктуры. Размеры ГГ определяются габаритами основных палуб и грузовых отсеков ПС, а также их грузовых модификаций.

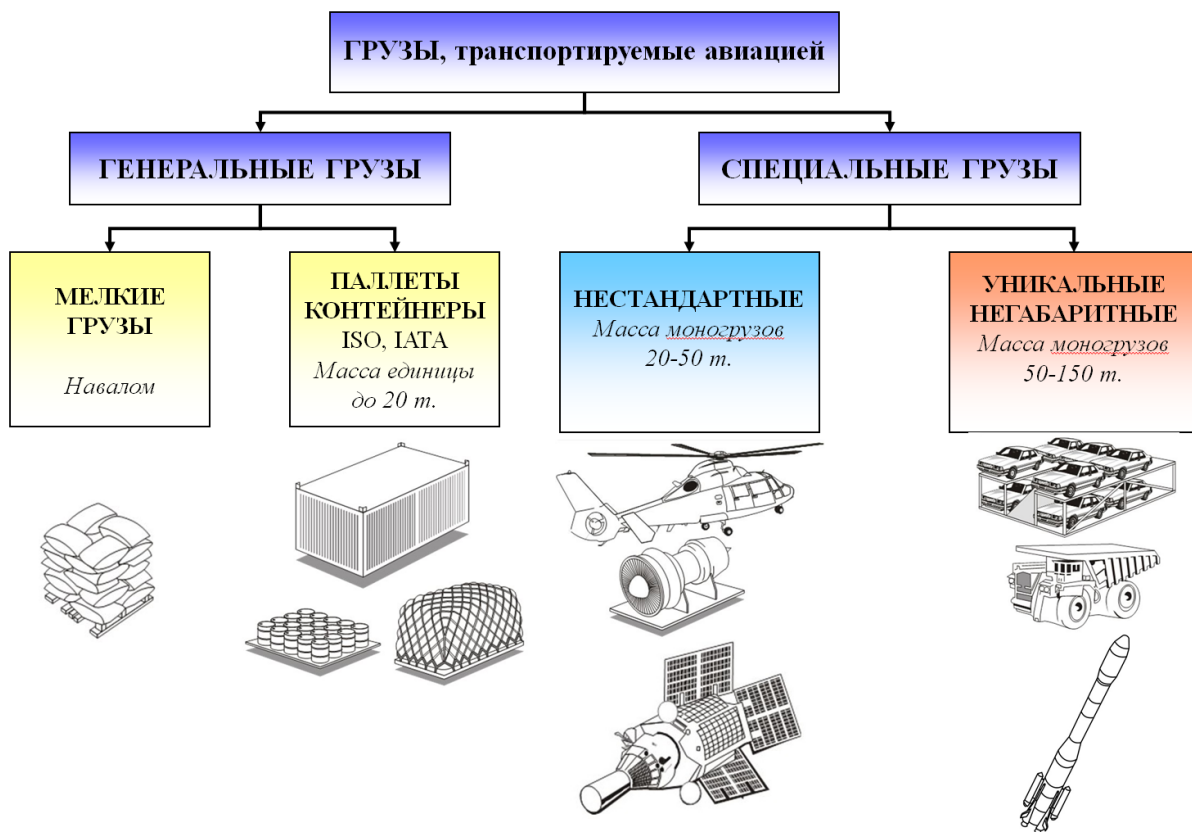


Рис. 1. Классификация авиационных грузов

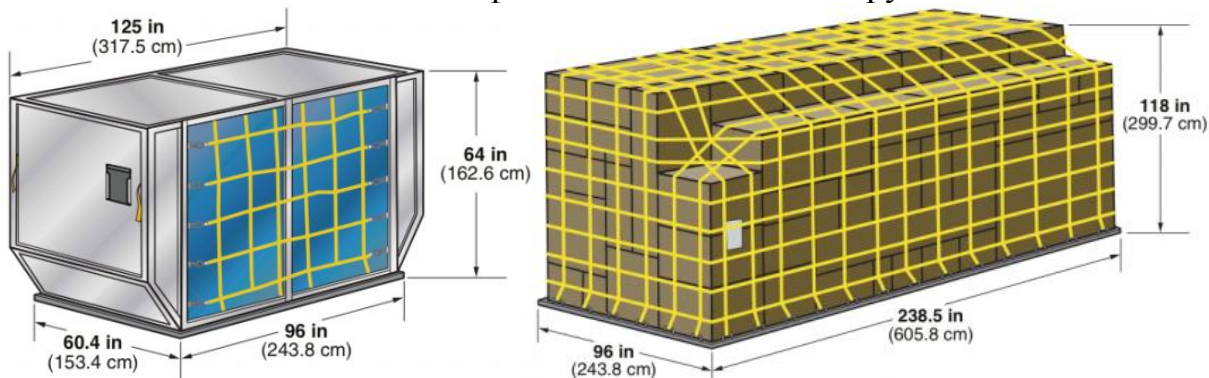


Рис. 2. Примеры стандартизованных авиационных грузов

Примеры погрузки ГГ и САГ показаны на рис.3. В СГ принято разделять на нестандартные (НГ) массой 20-50 т с произвольными габаритами и уникальные негабаритные (УНГ) массой до 150 т с произвольными габаритами.



Рис. 3. Погрузка генерального груза в Boeing B-747 (слева) и уникального груза в Ан-124-100 (справа)

К СГ относятся грузы тяжелой промышленности (например, колеса турбин энергетических установок), добывающей промышленности (оборудование для нефте- и газодобычи), транспорт (вертолеты, легкие самолеты, автомобили), сборочные единицы строительных конструкций, агрегаты планеров магистральных самолетов (фюзеляжи, крылья, двигатели), космические летательные аппараты, спутники и т.п. Каждая перевозка таких грузов является уникальной транспортной операцией, и осуществляется с использованием рамповых грузовых самолетов (РГС) [1]. При этом погрузочно-разгрузочное оборудование (ПРО), удерживающие устройства и распределители нагрузки, необходимые в полете, часто проектируются под конкретную перевозку, и доставляются к месту проведения работ отдельным рейсом (в отличие от ГГ, оборудование для погрузки которых есть в каждом крупном аэропорте).

УНГ, имеющие большие габариты и сравнительно малую массу, и относящиеся в основном к авиакосмической промышленности, определили появление специальных транспортных самолетов (СТС) [1], обладающих большой грузовой кабиной или возможностью транспортировки грузов на внешней подвеске.

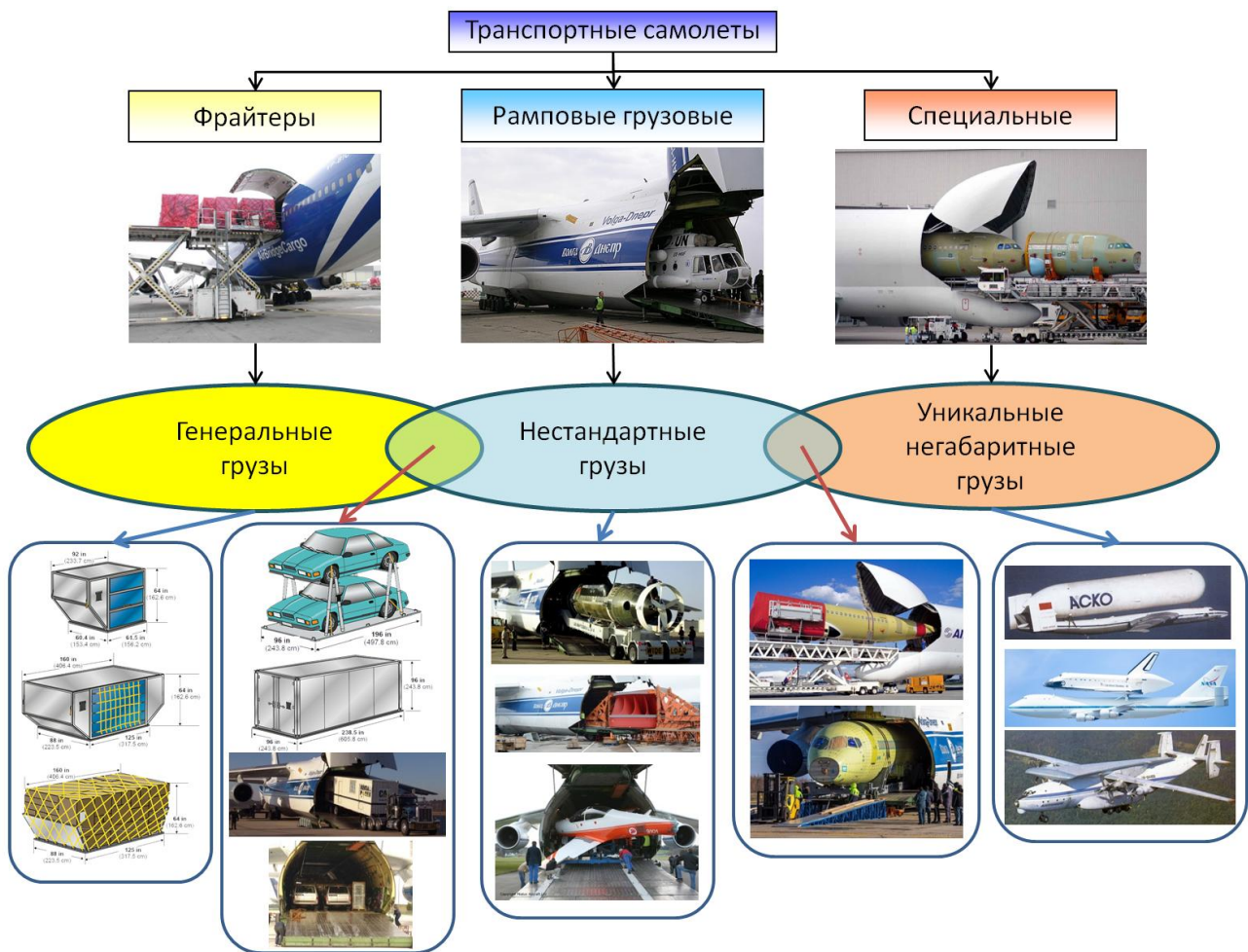


Рис. 4. Сферы применения транспортных самолетов.

Таким образом, к настоящему моменту сложились три обширные сферы применения транспортных самолетов, которые охватывают различные типы грузов. Наиболее массовыми являются перевозки стандартизованных авиационных контейнеров и паллет, которые осуществляются на грузовых самолетах-фрайтерах. Перевозка уникальных грузов является наименее массовым сегментом и осуществляется на самолетах, специально спроектированных под данные задачи. Наиболее универсальными являются рамповые грузовые самолеты (см. рис.4), которые могут использоваться как для перевозки стандартизованных контейнеров, так и для перевозки УНГ.

Далее в статье рассмотрены особенности именно рамповых грузовых воздушных судов (ВС).

### **Особенности современных рамповых грузовых самолетов**

Целевое назначение РГС определяет их основные особенности. К ним относятся:

1. Необходимость доступа в грузовую кабину без образования «бутылочного горлышка» влечет за собой необходимость проектирования *специальных грузовых люков*, усложняющих и утяжеляющих конструкцию. Наличие люков в задней части фюзеляжа приводит к некоторому ухудшению аэродинамических характеристик из-за большого отгиба и уплощения хвостовой части (рис.5);



Рис. 5. Люк в хвостовой части ВТС С-17. Видны ребра, уменьшающие вихревое сопротивление фюзеляжа и нагрузки на хвостовую часть.

2. Большая площадь миделя фюзеляжа. На рис.6 показано, что аппроксимирующая зависимость вида  $y=c \cdot \ln(x)+b$ , построенная методом наименьших квадратов, для миделя ТС расположена выше на 25...30% по сравнению с ПС;

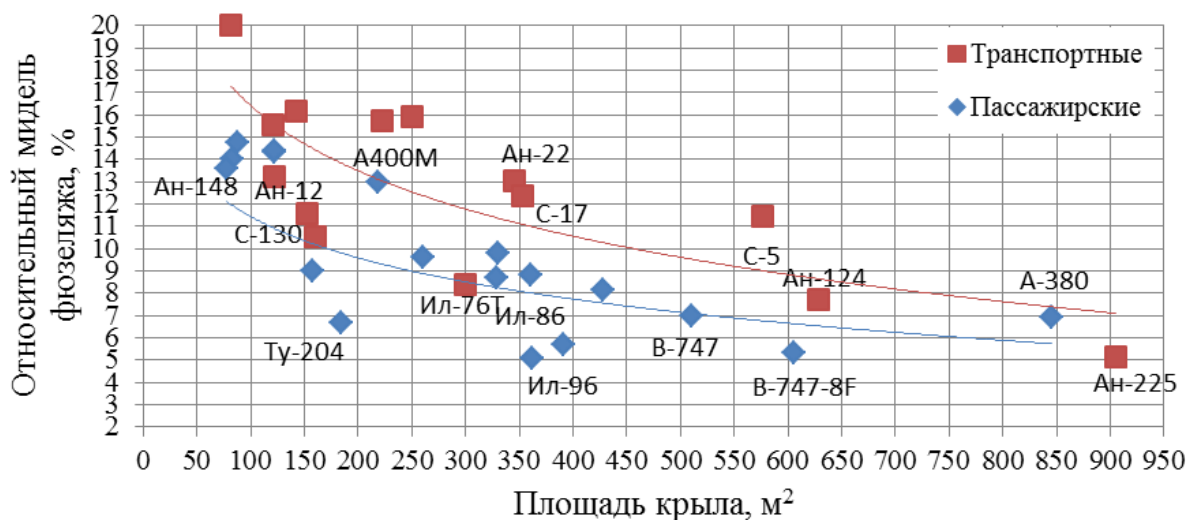


Рис. 6. Зависимость относительного миделя самолета от площади крыла

3. В отличие от ПС, груз в ТС часто является сосредоточенным. Это влечет за собой необходимость наличия *усиления грузового пола* других частей планера, что в свою очередь, ухудшает массовую отдачу;

4. Требования к перевозке самоходной техники, а также негабаритных моногрузов, приводят к необходимости *минимизации высоты погрузки*. Как следствие, подавляющее большинство рамповых грузовых самолетов (РГС) являются высокопланами, имеют сложную систему приседания, рампы и аппарели для подъема самоходной техники. Высокое расположение крыла приводит к необходимости размещения опор шасси по бортам фюзеляжа, что увеличивает омываемую поверхность и мидель несущих частей;

5. Худшие условия эксплуатации по сравнению с ПС (отсутствие аэродромной инфраструктуры, подготовленных ВПП) определяет наличие у РГС *специального многоколесного шасси и развитой взлетно-посадочной механизации*;

6. Ухудшение аэродинамических характеристик (АДХ), перетяжеленная по сравнению с ПС конструкция, а также желание улучшить взлетно-посадочные

характеристики (ВПХ) влекут за собой *понижение крейсерской скорости* РГС, что четко прослеживается по аппроксимирующим зависимостям, показанным на рис.7.

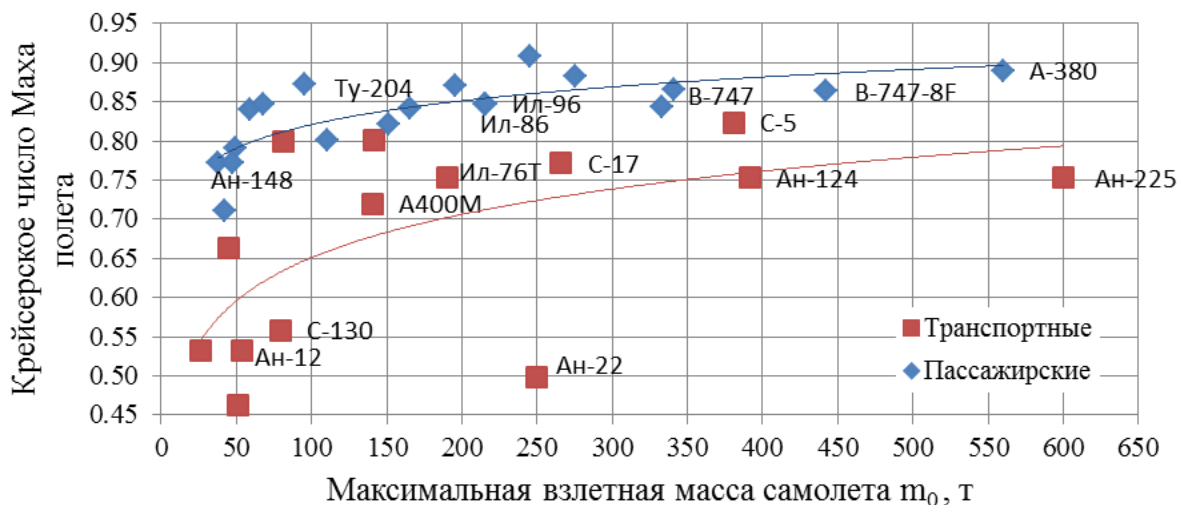


Рис. 7. Сравнение скорости ПС и ТС в зависимости от массы

7. *ТВД применяются на ТС чаще, чем на ПС. Их применение вызвано желанием улучшить ВПХ и массовую отдачу самолета [2]. Однако на большинстве тяжелых и сверхтяжелых ТС применяются ТРДД с большой степенью двухконтурности. Это объясняется отсутствием ТВД большой мощности и ограничениями по крейсерской скорости полета у существующих ТВД (крейсерское число Маха  $M \leq 0.7 \dots 0.72$ ).*

8. *Перевозка грузов различных размеров и назначения влечет за собой необходимость наличия на борту РГС *погрузочно-разгрузочного оборудования* (ПРО) в виде лебедок, кранов, тельферов, которое снижает массовую отдачу самолета.*





Рис. 8. Бортовой кран самолета Ан-124 (слева) и эстакада для погрузки длинномерного груза (справа)

Помимо этого, для погрузки нестандартных грузов обычно применяются специально спроектированные устройства, не относящиеся к конструкции самолета, но требующие доставки до места погрузки или разгрузки (рис.8).

### **Пути развития рамповых грузовых самолетов**

Прогресс в области совершенствования РГС определяется в основном четырьмя направлениями:

1. Совершенствованием аэродинамических характеристик (АДХ);
2. Совершенствованием *силовой установки (СУ)*;
3. Совершенствованием конструкции планера, конструкционных материалов (КМ) и технологий их производства;
4. Массо-габаритными параметрами *перспективных грузов* и ПРО для их транспортировки.

**Совершенствование АДХ РГС** является одним из главных направлений повышения их эффективности. Подавляющее большинство разработанных к настоящему времени РГС построены по нормальной аэродинамической схеме (АДС).

Современные методы расчета позволяют получать крылья со средней относительной толщиной 12.5...13.5%, стреловидностью 24...27° при высоких крейсерских скоростях полета в 800...870 км/ч [3]. Это позволяет повысить удлинение крыла до 9.5...11.5 при сохранении прочности и веса конструкции. На рис.9 и рис.10 даны зависимости стреловидности крыльев ПС и ТС и крейсерского числа  $M$  полета по годам. Видна тенденция к уменьшению стреловидности крыльев ПС с практически неизменной скоростью полета. Для ТС прослеживается резкий скачок стреловидности и скорости полета при переходе с ТВД на ТРД с последующим выходом на практически постоянное значение крейсерской скорости и стреловидности крыла.

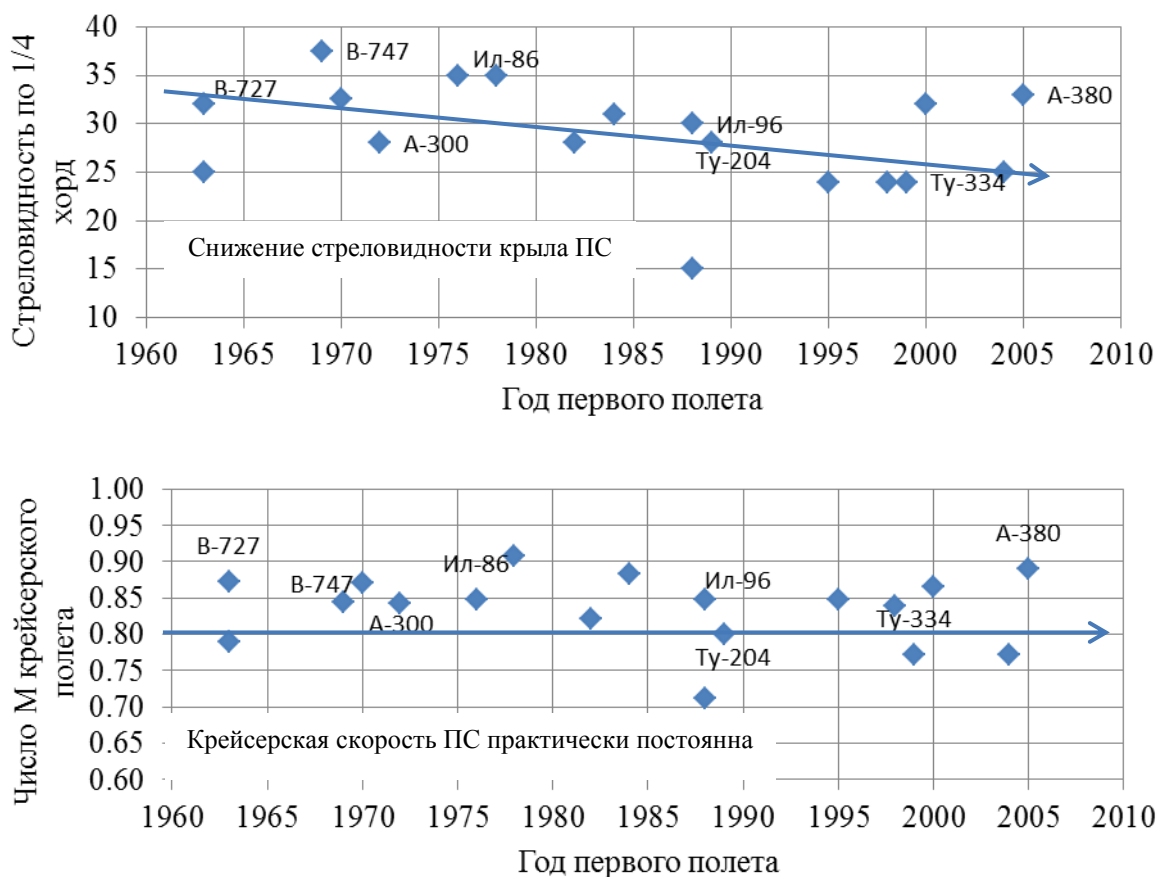


Рис. 9. Зависимость стреловидности и  $M_{крс}$  для ПС

Для перспективного ТС, построенного по нормальной АДС, эти тенденции, скорее всего, сохранятся. При этом крылья больших удлинений ( $\lambda > 10$ ) вряд ли найдут применение при проектировании РТС, так как для данного типа самолетов на первый план выходит не только дальность полета и минимальные километровые расходы топлива, но и грузоподъемность, а также характеристики базирования.

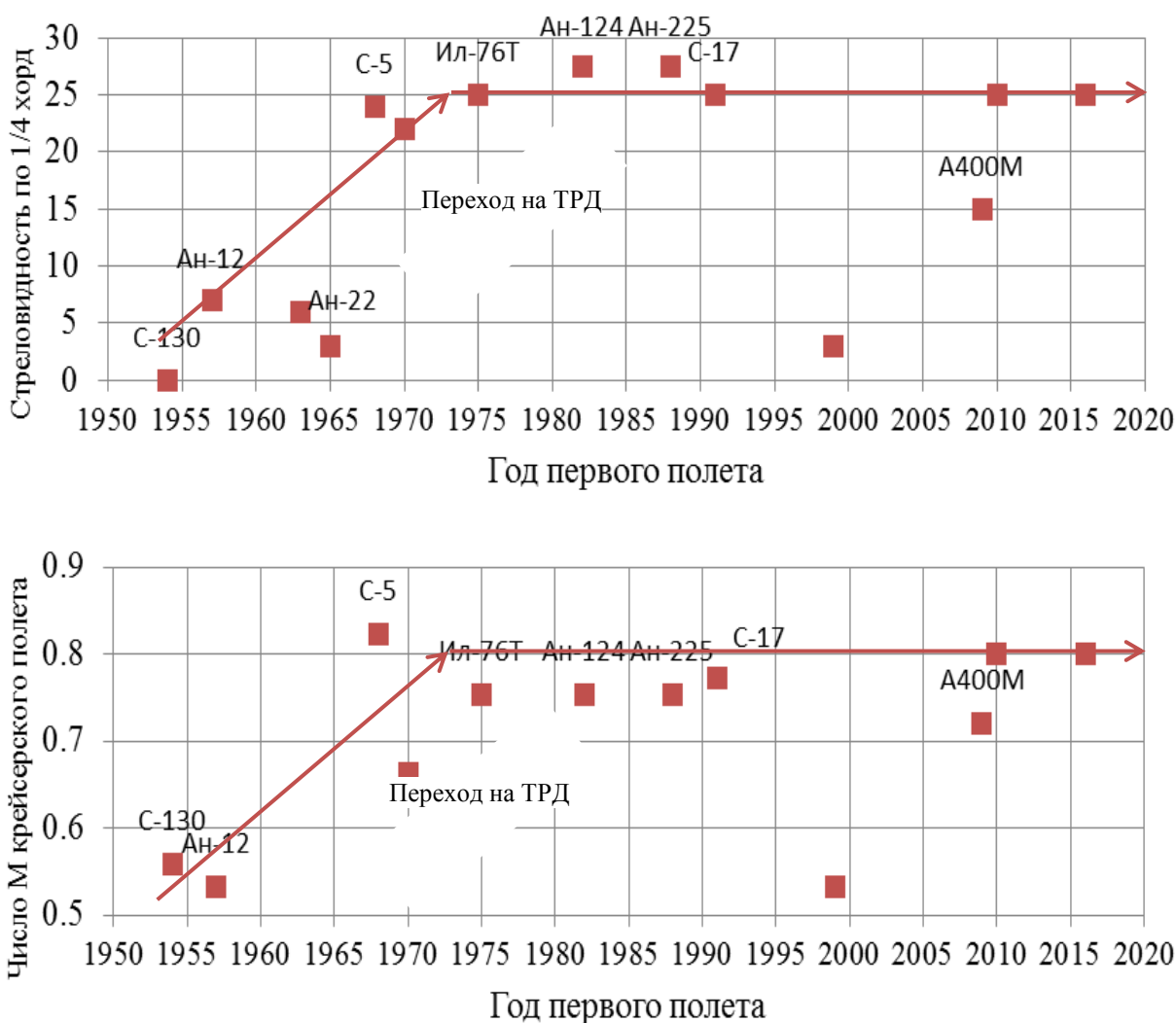


Рис. 10. Зависимость стреловидности и  $M_{кр}$  для ТС

В настоящее время самолеты классических схем достигли высоких значений величины  $K_{max}/K_{теор} \approx 0.8$ . Дальнейшее увеличение аэродинамического качества таких

компоновок возможно либо за счет затрат энергии, например, применения систем управления ламинарным обтеканием (УЛО), либо за счет нестандартных компоновочных решений.

УЛО имеет ряд сложных вопросов, затрудняющих практическую реализацию. К ним относятся проблемы конструктивного исполнения и эксплуатации подобных систем. Так, например, при наличии на крыле перфорированных панелей диаметр отверстий для отсоса пограничного слоя составляет около 0.05...0.1 мм, что влечет вероятность их засорения. Поэтому подобные системы вряд ли найдут применение на РГС.

В качестве нестандартных компоновочных решений для перспективного РГС возможно применение нормальной схема с двигателями, расположенными над крылом. Такое расположение двигателей позволит сократить относительный мидель несущих частей и общую площадь омываемой поверхности самолета за счет прохождения центроплана в подпольном пространстве (а не над сечением грузовой кабины), а также совмещения обтекателей шасси и зализа крыла.

В настоящее время такая компоновка ближнемагистрального ПС (см. рис.11) исследуется в ЦАГИ [4].

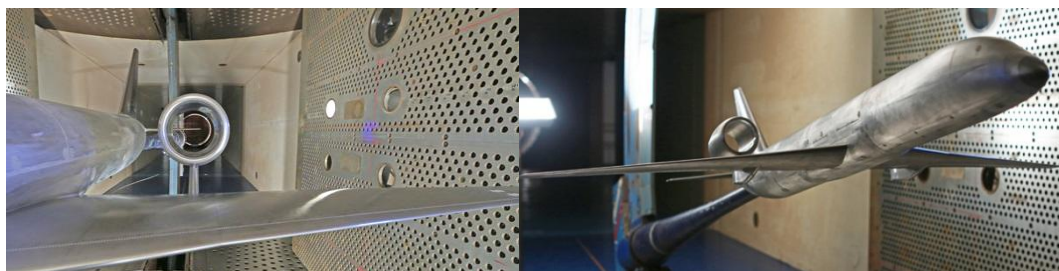


Рис. 11. Модель ближнемагистрального самолета с ламинарным крылом

Эксперименты показывают, что верхнее расположение двигателей при определенных условиях не вносит дополнительного сопротивления, позволяя получить аэродинамически чистую переднюю кромку крыла для использования эффекта естественной ламинаризации потока.

Для тяжелого ТС использование данного эффекта затруднительно из-за больших размеров самолета, а также из-за необходимости наличия мощной взлетно-посадочной механизации (предкрылков). Однако в последнее время появились рабочие образцы гибкой механизации [5], проходящие в настоящий момент летные испытания (см. рис.12), которые позволяют надеяться на то, что в будущем станет возможным сохранить гладкость поверхности крыла при использовании достаточно эффективной механизации передней кромки.



Рис. 12. Гибкий закрылок компании FlexSys, проходящий летные испытания. Еще одним примером нестандартного решения для нормальной АДС является применение V-образного хвостового оперения (см. рис.13). Исследования показывают [6], что, несмотря на несколько меньшую эффективность оперения в продольном канале по сравнению с горизонтальным стабилизатором той же площади, на режиме крейсерского полета ( $M_\infty=0.77$ ,  $C_y=0.4$ ) возможен выигрыш по

сопротивлению примерно на 15%. В основном это достигается за счет меньшего сопротивления трения вследствие меньшей омываемой площади.



Рис. 13. Модель самолета с V-образным оперением в аэродинамической трубе

В настоящее время ведутся исследования нетрадиционных аэродинамических компоновок РГС. Так фирма Lockheed (см. рис.14) разрабатывает проект РГС интегральной схемы (Hybrid Wing Body или HWB) на перспективу ввода в эксплуатацию в 2035...2040 г.г. [7]. Несущий фюзеляж, плавно сопряженный с крылом, имеет традиционную хвостовую часть с рампой, грузовым люком и T-образным оперением. Двигатели большой двухконтурности установлены над крылом в «бортовом» сечении консоли крыла. По оценкам разработчиков, данный самолет будет обладать топливной эффективностью на 70% превышающей эффективность самолета С-17 и на 15% превышающей эффективность воздушного танкера В-767. Также предполагается его использование для гражданских грузоперевозок.



Рис. 14 Компоновка Lockheed HWB

Таким образом, можно ожидать, что в среднесрочной перспективе (10...20 лет) сохранится тенденция к использованию хорошо отработанных традиционных компоновок на базе «нормальной» схемы. В более отдаленном будущем (30...40 лет) «нормальная» схема, скорее всего, также будет преобладающей, но для ее дальнейшего совершенствования могут быть использованы нетрадиционные для настоящего времени конструктивно-компоновочные решения.

**Совершенствование СУ** является вторым основным направлением по улучшению эффективности ТС. На рисунках 15...18 рассмотрены характеристики некоторых двигателей с тягой  $\approx 16...50$  тс фирм Rolls-Royce, Pratt&Whitney, General Electric и других (аппроксимация данных проведена по методу наименьших квадратов с использованием функции  $y=k \cdot x+b$ ). Прослеживается тенденция возрастания по годам степени двухконтурности и степени повышения давления, и, как следствие, тенденция к снижению удельного расхода топлива. Однако дальнейшее повышение степени двухконтурности ТРДД  $m \geq 10$  требует учета нескольких факторов.

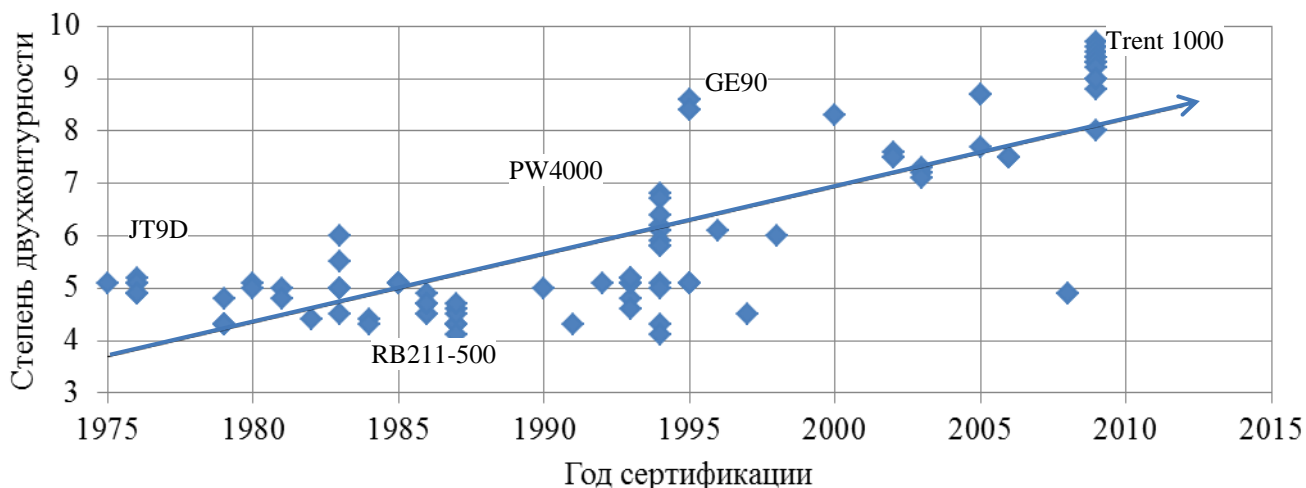


Рис. 15. Изменение степени двухконтурности ТРДД по годам  
 Во-первых, с увеличением степени двухконтурности увеличивается удельная масса силовой установки (см. рис.18). Во-вторых, с увеличением степени двухконтурности увеличиваются мидель и линейные размеры мотогондолы. Это может приводить к увеличению сопротивления от аэродинамической интерференции и к компоновочным трудностям.

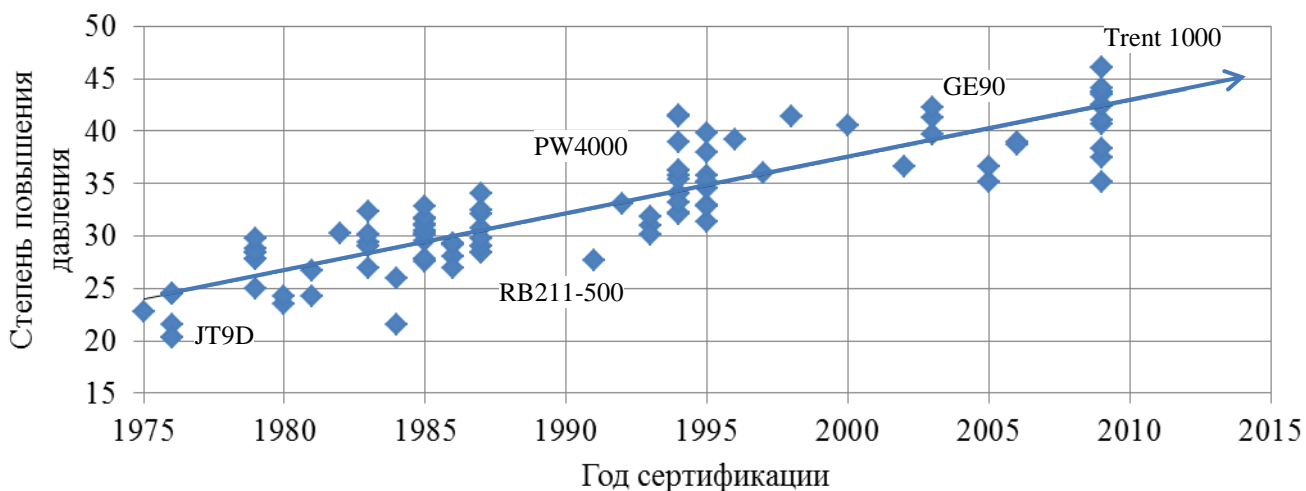


Рис. 16. Изменение степени повышения давления ТРДД по годам



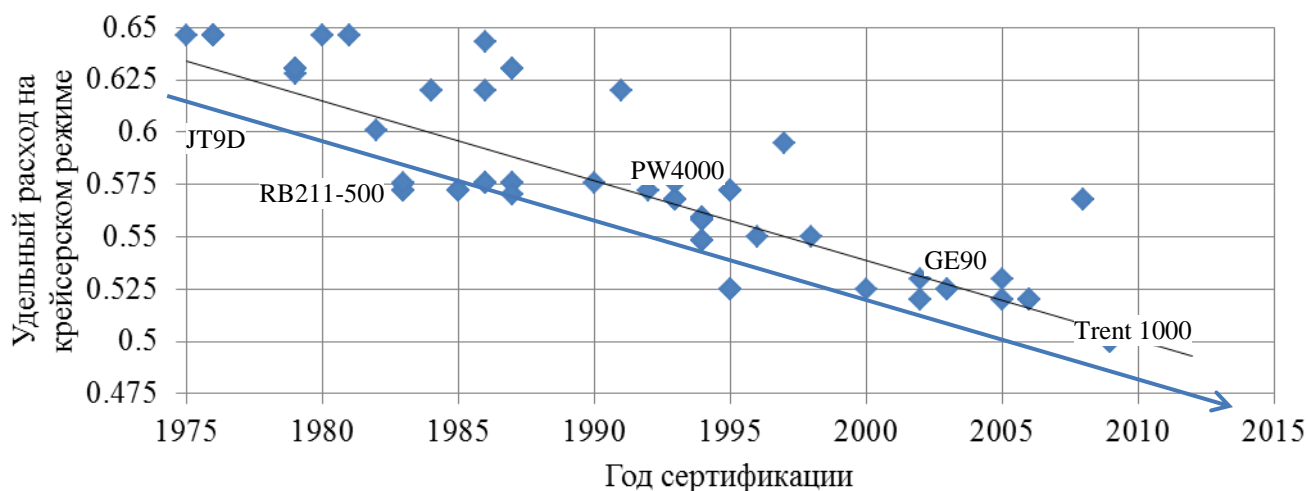


Рис. 17. Изменение удельного расхода ТРДД по годам  
Перспективным направлением является применение на РГС усовершенствованных турбовинтовентиляторных двигателей (ТВВД). При этом отпадает проблема воздействия на пассажиров шума от высоконагруженных винтов, а крейсерская скорость полета в  $V_{крс}=750\dots800$  км/ч является приемлемой.

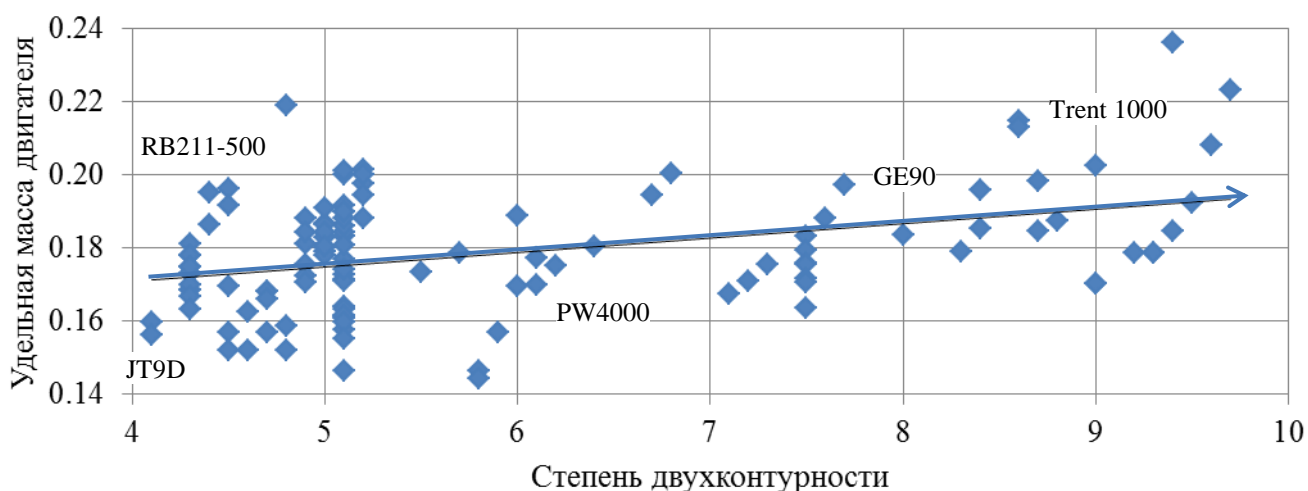


Рис. 18. Зависимость удельной массы двигателя от степени двухконтурности.  
В настоящее время активно ведутся работы по применению распределенных силовых установок (PCY) с передачей энергии от турбины к тяговым вентиляторам либо через механическую трансмиссию, либо в виде электрической энергии. В последнем случае привод тяговых вентиляторов осуществляется при помощи электродвигателя.

Ожидаемое снижение удельного расхода топлива на крейсерском режиме ( $M=0.8$   $H=11$  км) для таких установок по сравнению с современными ТРДД оценивается в  $\approx 15\%$  [8].

Помимо снижения удельного расхода прорабатывается возможность отсоса пограничного слоя (ПоС) через вентиляторы, приводимые во вращение электродвигателями распределенных силовых установок. Так, в исследованиях по программе N+3 расчетным образом было показано, что при применении отсоса ПоС с верхней поверхности летающего крыла (см. рис.19) максимальное аэродинамическое качество компоновки повышается на  $\Delta K \approx 3.5$  [9].



Рис. 19. Проекты самолетов с РСУ и отсосом пограничного слоя  
Таким образом, в краткосрочной и среднесрочной перспективах на тяжелых ТС сохранится преобладание ТРДД, совершенствование которых будет направлено в первую очередь на повышение экономичности как самого двигателя (за счет увеличения двухконтурности, повышения температуры газа, степени сжатия и т.п.), так и самолета в целом (применение концепций «более электрического» самолета, РСУ, отсоса ПоС и др.).

**Совершенствование конструкции планера, конструкционных материалов и технологий их производства** непосредственно влияет на весовую эффективность перспективных ТС. В работах [10, 11] показано влияние аэродинамической компоновки на массу конструкции планера. Исследования показывают, что самолет грузоподъемностью 100 т, построенный по АДС с несущим фюзеляжем, может иметь взлетную массу на 5% меньше, чем построенный по нормальной АДС с теми же ЛТХ, а самолет по схеме «летающее крыло» - на 10...15% меньше.

Значительные резервы для уменьшения массы конструкции открывает широкое применение композиционных конструкционных материалов (ККМ). К сегодняшнему дню широко внедрены полностью композитные агрегаты, такие как щитки, элероны, закрылки, вертикальное и горизонтальное оперение.

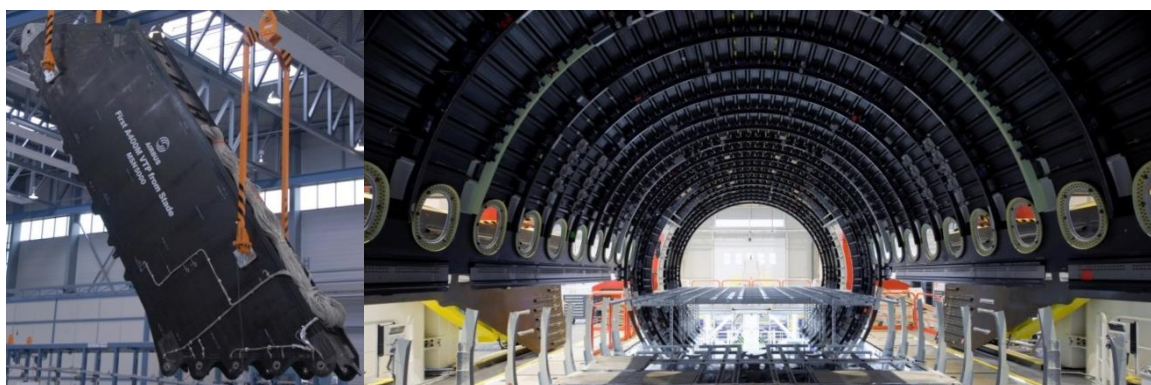


Рис. 20. Киль из композиционного материала самолета А400М (слева) и секция фюзеляжа самолета А350 (справа) из ККМ

Зависимость массовой доли ККМ в конструкции от года первого полета показана на рис.21 (аппроксимация данных проведена с использованием функции  $y = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d$  методом наименьших квадратов). Видно, что с совершенствованием технологии производства деталей из композиционных

материалов их доля в массе конструкции растет. Для перспективных ТС она превысит 65...70 %.

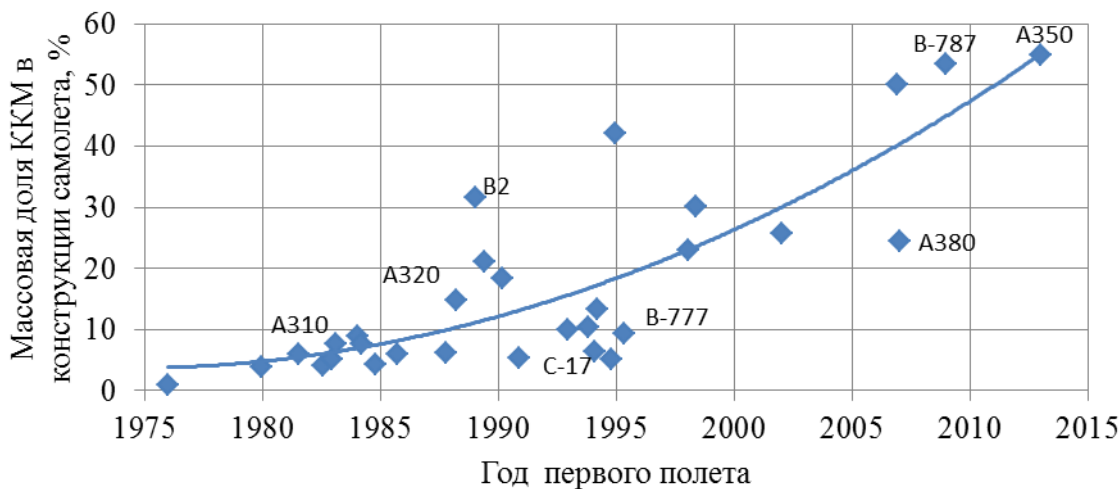


Рис. 21. Изменение массовой доли ККМ в конструкции самолетов с течением времени

В настоящее время из ККМ уже изготавливаются несущие элементы конструкций, находящихся под действием сложного напряженного состояния. В 2011 году начата эксплуатация самолета B-787, а в 2015 – Airbus A350, имеющих массовую долю ККМ в конструкции около  $\approx 55\%$  (композитные секции фюзеляжа и часть консоли крыла). На стадии постройки находится самолет MC-21, консольная часть крыла которого полностью выполнена из композиционного материала.

Фюзеляж грузового самолета (ГС) в целом даже лучше подходит для использования в его конструкции ККМ, т.к. в нем нет большого количества вырезов под иллюминаторы. В 2009 г. первый полет выполнил самолет X-55A [12]. Хвостовая и средняя части фюзеляжа, а также вертикальное оперение этого самолета были полностью изготовлены из композиционных материалов (см. рис.22). Число деталей конструкции, в том числе и крепежных элементов удалось сократить ровно на

порядок по сравнению с обычной металлической конструкцией, что снизило стоимость изготовления.



Рис. 22. Фюзеляж самолета X-55A

Проектирование перспективного ТС, предназначенного для перевозки нестандартных грузов, неразрывно связано с исследованиями в области нового и совершенствованием существующего **погрузочно-разгрузочного оборудования (ПРО)**, а также с прогнозированием и изучением потребностей рынка грузоперевозок. На сегодняшний день габариты груза, перевозимого РГС, ограничены размерами грузовой кабины (в основном поперечным сечением) и грузоподъемностью самолетов, находящихся в эксплуатации. Таким образом, сегодня рынок НГ, по сути, *сформирован существующими тяжелыми ТС*. При определении размерности перспективного РГС и, особенно, при выборе размеров грузовой кабины необходимо знать, какие грузы потребуют перевозки в ближайшие годы. Отсутствие у НГ собственных средств передвижения в совокупности с большими габаритами и массой, сопоставимой с массой пустого тяжелого РГС, ставят задачу разработки перспективного ПРО. При этом, проработка конструкции такого оборудования должна проводиться на стадии проектирования самолета, так как способ погрузки и развитость наземной инфраструктуры во многом определяет

характеристики ТС. Необходимо понимать, что ПРО наравне с исследованием рынка перспективных грузов - это важные вопросы, которые не могут уложиться в один раздел настоящей работы. Они требуют отдельного обширного исследования.

### **Заключение**

Из приведенного в настоящей статье анализа характеристик существующих и перспективных ТС можно заключить, что целесообразно рассматривать создание РГС в среднесрочной (6-15 лет) и долгосрочной (16-30 лет) перспективе.

Для самолета среднесрочной перспективы основной будет являться нормальная АДС с толстым сверхкритическим крылом (средней относительной толщиной 12...13%) большого удлинения ( $\lambda \approx 8.5...9$ ) и умеренной стреловидности (около  $\chi \approx 23...25^\circ$ ). Такое крыло дает возможность применить простую и легкую механизацию (например, одноцелевой выдвигной закрылок). Максимальное аэродинамическое качество самолета должно находиться в пределах  $K_{\max} \approx 18...19$  при крейсерской скорости полета  $V_{\text{крс}} \approx 800$  км/ч. В рамках среднесрочной перспективы можно рассмотреть вопрос о применении на перспективном ТС нестандартного оперения, например, V-образного. В качестве силовой установки для перспективного ТС скорее всего будут использоваться ТРДД с большой степенью двухконтурности  $m \approx 10$  и сравнительно малыми расходами топлива  $c_p \approx 0.5$  кг/кгс·ч. Масса конструкции планера может быть снижена за счет более широкого применения композиционных материалов. Сейчас рекордсменом в этой области является ТС Airbus A400M, имеющий относительную массу композитов более 30%

массы планера. Поэтому можно ожидать, что ТС среднесрочной перспективы будет иметь относительную массу композиционных материалов не ниже 35...40%

Создание ТС на долгосрочную перспективу требует от конструкторов качественно новых решений во всех областях. Необходимо нарабатывать научно-технический задел по неиспользуемым в настоящее время в транспортной авиации аэродинамическим компоновкам, например с несущим фюзеляжем. Аэродинамическое качество такой компоновки может достигать  $K_{\max} \approx 23 \dots 24$ , что примерно на 20% лучше существующих ПС схожей размерности.

В долгосрочной перспективе можно ожидать качественного перехода на распределенные силовые установки, имеющие расход топлива в крейсерском режиме  $c_p \approx 0.4$  кг/кгс·ч, а также на новые виды топлива.

Работы многих исследователей показывают возможность уменьшения сопротивления трения на крейсерском режиме полета путем отсоса пограничного слоя через вентиляторы таких распределенных СУ, что по расчетам увеличит  $K_{\max}$  на  $\Delta K \approx 3 \dots 3.5$ . В конструкцию ТС долгосрочной перспективы нужно закладывать не менее 55...60% массовой доли композиционных материалов, а весовая отдача перспективного ТС должна составлять 65...70%.

При проектировании перспективного коммерческого ТС необходимы маркетинговые и экономические исследования, в том числе:

- анализ серийности перспективного ТС, необходимой для окупаемости проекта. На рис. 23 видно, что количество выпущенных самолетов, в особенности транспортных, сильно снижается с ростом размерности. Поэтому для перспективного тяжелого РГС

особенно важно понимать, какая серия самолетов будет окупаться, или будет целесообразна даже при малой окупаемости;

- анализ номенклатуры перспективных грузов, который позволит определить требуемые массогабаритные характеристики ТС, позволяющие занять максимальную долю рынка;

- проработку возможности создания семейств и модификаций (пассажирских, специальных, военно-транспортных и т.п.).

Технические и экономические параметры самолета влияют не только друг на друга, но также и на потребность рынка в данной машине. Поэтому процесс предварительного проектирования перспективного коммерческого ТС должен представлять цикл, связывающий маркетинговые, технические и экономические характеристики самолета в единый процесс.



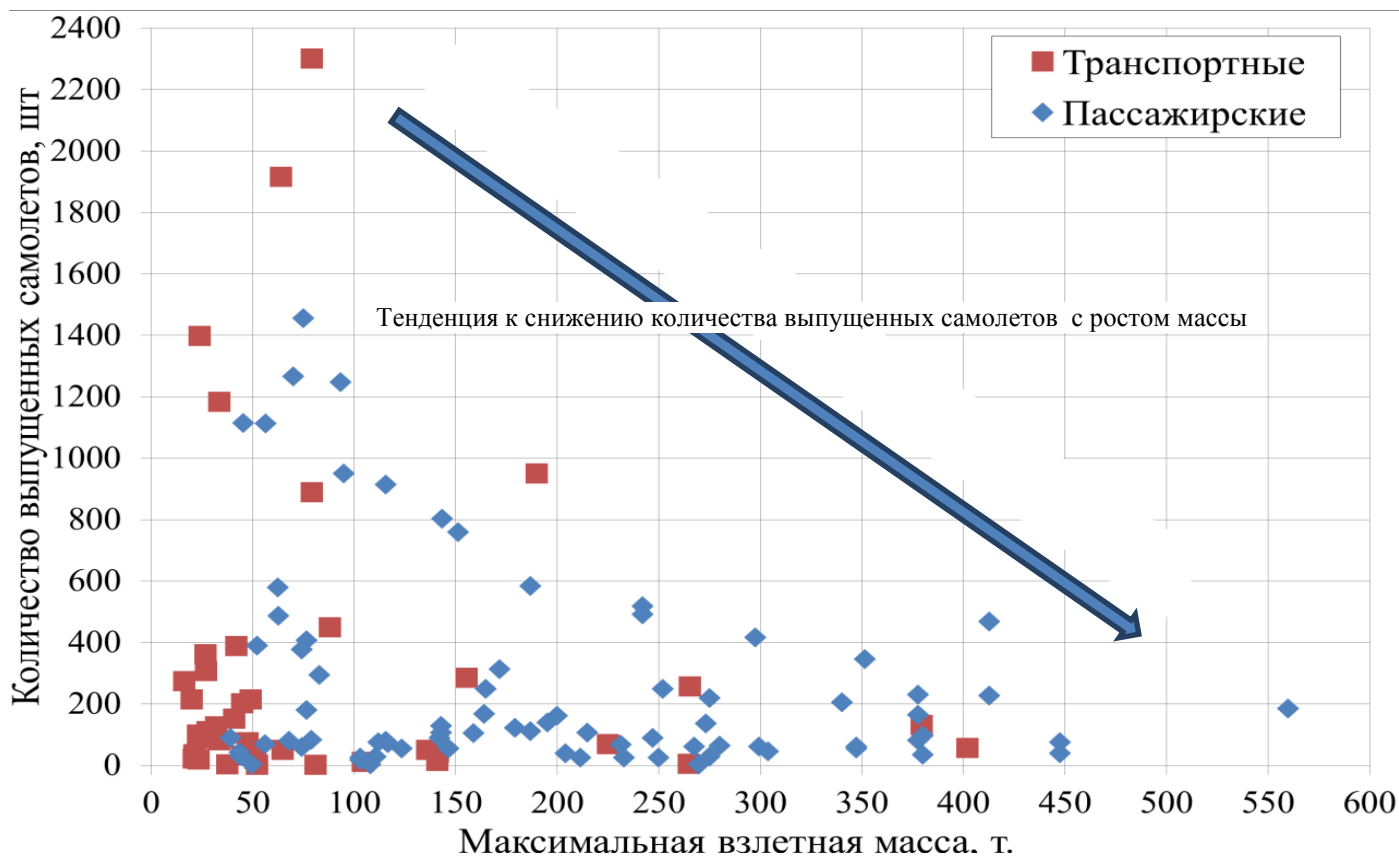


Рис. 23. Изменение объема выпуска ТС по годам

При создании перспективного ТС для коммерческого использования необходимо на стадии предварительного проектирования применять подход, позволяющий связать в единый цикл анализ рынка, прогноз его потребностей, расчет стоимости производства и эксплуатации самолета, а также увязку технических характеристик (параметры грузовой кабины, масса самолета, аэродинамическое качество, скорость и т.п.), которые определяют его экономические и конкурентные преимущества. С помощью такого подхода на ранних этапах проектирования можно будет оценить взаимосвязь параметров рынка, технических и экономических характеристик самолета, и оптимизировать технические параметры, основываясь на их влиянии через потребительские свойства самолета на экономику проекта в целом.

## **Вывод**

В настоящей статье рассмотрены особенности существующих и перспективных транспортных самолетов. Предложены направления развития ТС в среднесрочной и долгосрочной перспективах, такие как совершенствование аэродинамических характеристик, применение новых двигателей, перспективных конструкций, технологий и материалов. Обозначена необходимость нового подхода к оценке целесообразной серийности и обоснованию экономической эффективности выпуска тяжелых рамповых грузовых самолетов.

## **Библиографический список**

1. Арутюнов А.Г., Дыдышко Д.В., Кузнецов К.В. История развития транспортных самолетов // Труды МАИ, 2016, №89: <https://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=72654>
2. Антонов О.К., Толмачев В.И. Транспортный самолет сегодня и завтра // Авиация и космонавтика. 1966. №8. С. 18-25.
3. Бюшгенс Г.С. Аэродинамика и динамика полета магистральных самолетов. - Москва-Пекин, Издательский отдел ЦАГИ, 1995. - 772 с.
4. Официальный сайт Центрального аэрогидродинамического института имени профессора Н. Е. Жуковского: [http://tsagi.ru/pressroom/news/2158/?sphrase\\_id=13900](http://tsagi.ru/pressroom/news/2158/?sphrase_id=13900)
5. Официальный сайт компании Flexsys: <http://www.flxsys.com/flexfoil>
6. Carrier G., Gebhardt L. A Joint DLR-ONERA Contribution to CFD-based Investigations of Unconventional Empennages for Future Civil Transport Aircraft: CEAS/KATnet Conference on Key Aerodynamic Technologies, Bremen, June, 2005.

7. Официальный сайт журнала Aviation Week: [http://aviationweek.com/HWB#slide-3-field\\_images-1348431](http://aviationweek.com/HWB#slide-3-field_images-1348431)
8. Единое пространство инноваций: <http://mrgr.org/docs/detail.php?ID=507>.
9. Greitzer E.M., Slater H.N. N+3 Aircraft Concept Designs and Trade Studies. Final Report. - Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2010, 183 p.
10. Ендогур А.И. Конструкция самолетов. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2012. - 495 с.
11. Антуфьев Б.А., Ендогур А.И., Панкевич А.А., Самойлович О.С. Влияние компоновочной схемы на массу силовой конструкции перспективных магистральных пассажирских самолетов большой дальности // Известия вузов. Авиационная техника. 1996. №1. С. 9-15.
12. Сайт большой авиационной энциклопедии. Уголок неба: <http://airwar.ru/enc/xplane/x55.html>
13. Исайкин А.И., Толмачев В.И. Ан-124 в мировой транспортной логистике // Аэрокосмическое обозрение. 2007. №5. С. 18-27.
14. Толмачев В.И. Самый большой и грузоподъемный самолет мира // Наука в СССР. 1986. №5. С. 7-14.
15. Ендогур А.И., Кравцов В.А. Идеология проектирования авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов // Труды МАИ, 2015, №81: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=57755>
16. Грищенко С.В. Расчёт и проектирование изделий конструкции самолёта из слоистых композитов с учётом межслоевых эффектов // Труды МАИ, 2015, №84: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=63011>