

УДК 658.012

Кривов Г. А., Зворыкин К. О.

АО «Украинский научно-исследовательский институт авиационной технологии». Украина, г. Киев

## КЛЮЧЕВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО САМОЛЁТОСТРОЕНИЯ И УЧАСТИЕ В ИНТЕГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ УКРАИНСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Показана целесообразность выделения общих тенденций, которые станут определять облик самолётостроительной отрасли. Рассматриваются основные, по мнению авторов, тенденции изменений в самолётостроении, которые обосновываются как ключевые и главные для развития этой наукоёмкой отрасли машиностроения.*

*Первая тенденция характеризуется созданием конструкций планера с высоким уровнем интегральности как основной путь сокращения количества деталей, сборочных единиц и крепежных элементов.*

*Представлены основные пути реализации второй ключевой тенденции, которая характеризуется как переход от «аналоговых» методов проектирования и изготовления деталей/узлов к «функционально-технологическим».*

*Показаны основные элементы третьей тенденции развития современного самолётостроения, которая характеризуется как использование гибких адаптивных производственных сборочных систем. Ещё одной немаловажной тенденцией развития самолётостроения является широкое использование идеологии проектного менеджмента, что, в первую очередь, связано с ускоряющимися темпами развития и обострением конкурентной борьбы на рынке авиастроения.*

*Приведены некоторые суждения авторов в отношении возможности интеграции украинских авиастроительных предприятий в мировое самолётостроение. [dx.doi.org/10.29010/083.2]*

*Ключевые слова:* самолётостроение; наукоёмкая продукция; производственная кооперация; сертификация.

### Введение

2018 год для отечественного самолетостроения знаменателен, прежде всего, важными датами истории этой наукоёмкой отрасли. Во-первых, мир отмечает 115-летие взлёта первого самолёта, сконструированного братьями Райт (Wilbur Wright и Orville Wright). Американские изобретатели не были первыми, кто построил и совершил полёт на летательном средстве с двигателем, однако они первые смогли управлять полётом, что сделало это средство уже самолётом. С момента появления возможности эффективного управления самолётом, реализуемого использованием его поверхностей, началась авиация. Возникла возможность проектировать аэродинамические поверхности, строить эффективные крылья и тогда образовалось самолётостроение. Вторая дата не юбилейная, но очень важная именно для отечественного самолётостроения. 108 лет назад в Киеве совершил полёт первый в России самолёт отечественного производства, сконструированный под руководством сотрудника Киевского политехнического института Александра Кудашова. К 100-летию этого основопола-

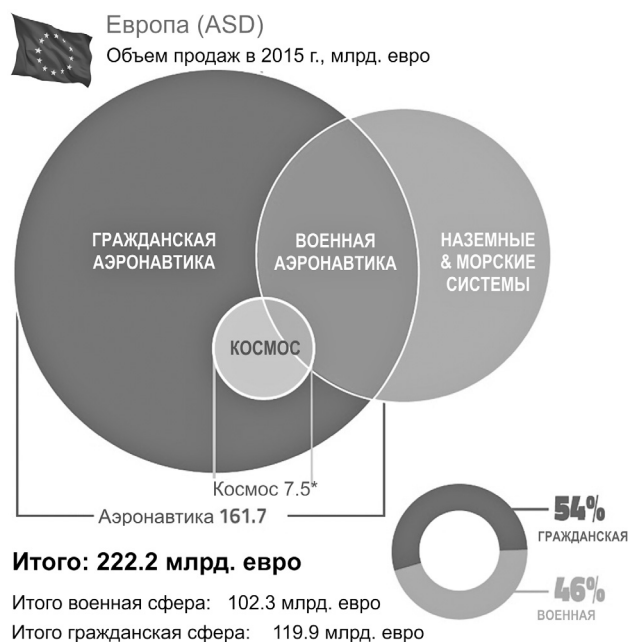


Рис. 1. Юбилейный сборник фотографий к 100-летию отечественного самолётостроения (АО УкрНИИАТ, 2010)

гающего события был выпущен юбилейный альбом (рис. 1).

Результаты анализа современного состояния мирового самолётостроения подтверждают, что отрасль интенсивно развивается и стала неотъем-

лемой частью экономик промышленных лидеров современной человеческой цивилизации. Неизменными остаются два главных центра самолетостроения – Европа и Северная Америка (Airbus и Boeing). Перспективы рынков самолетостроительной продукции характеризуются стабильностью и возрастающим спросом на новые изделия. Это касается гражданской и военной авиации.



Источник [1]: ASD\_F\_F2015\_web\_spreads\_Nov.pdf

Рис. 2. Типичные (фактические) объемы продаж изделий авиастроения в ЕС [1]

Стоимость продукции мирового авиастроения, прогнозируемой к выпуску в 2015–2035 гг., оценивается в 5,9 трлн. долл. США (рис. 2). За этот период прогнозируются поставки около 40 тысяч новых самолётов (включая военные самолёты).

Наиболее перспективными рынками для коммерческих самолетов на протяжении будущих 10 лет будут оставаться Северная Америка, Европа, Латинская Америка и Китай (рис. 3).

В мире авиастроение традиционно имеет очень высокий социально-экономический статус [2]. В 2016 году выработка на одного работающего в авиастроительной отрасли была в пределах от 0,5 млн. до 0,8 млн. долл. США, для сравнения динамики роста этого показателя приведены данные за 1999 год в мировом авиастроении (рис. 4).

Таким образом, для украинского самолетостроения, характеризующегося как наличием компетенций в разработке и организации производства уникальных для своего времени транспортных самолётов, так и сегодняшней деградацией серийного производства, усиленной малоэффективной вертикалью менеджмента предприятий преимущественно государственной формы собственности, формально остаются перспективы принять участие в перспективном рынке мирового самолетостроения. Однако, такие перспективы напрямую связаны с адекватной оценкой ближайших и отдалённых тенденций развития мирового самолетостроения, прогнозирования возможно более полноценного участия в этих процессах украинских самолетостроительных и других предприятий наукоёмкого машиностроения.

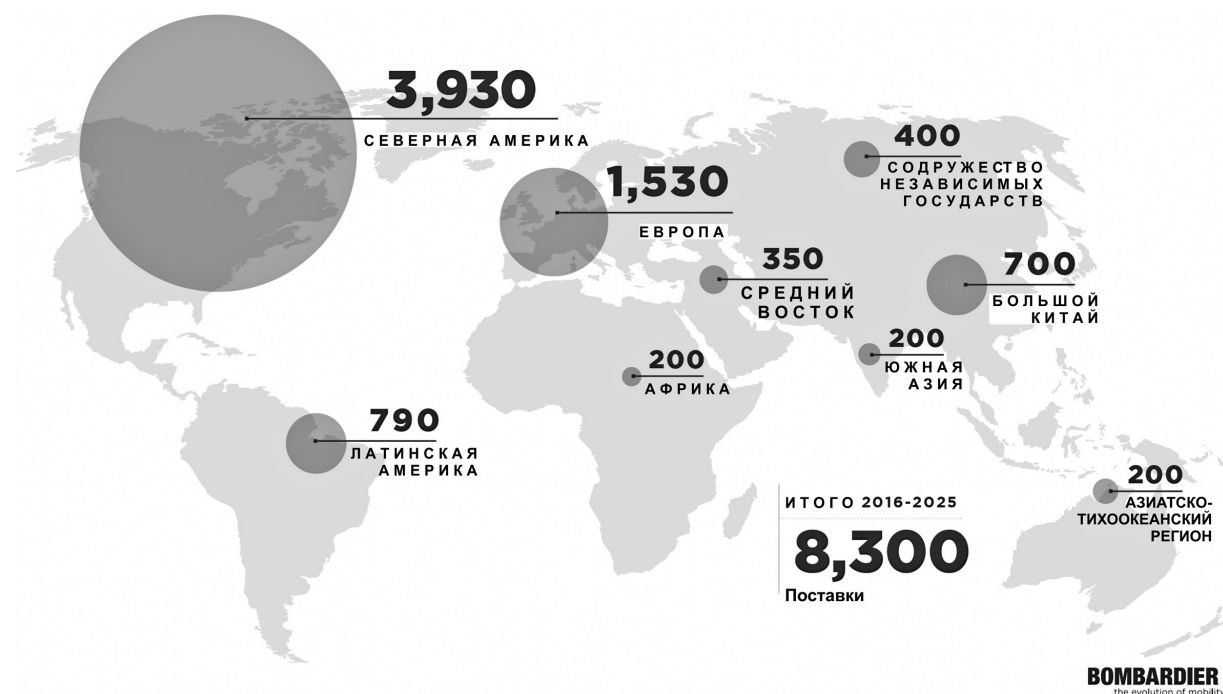


Рис. 3. Прогнозы рынка мирового самолетостроения (источник – Bombardier)

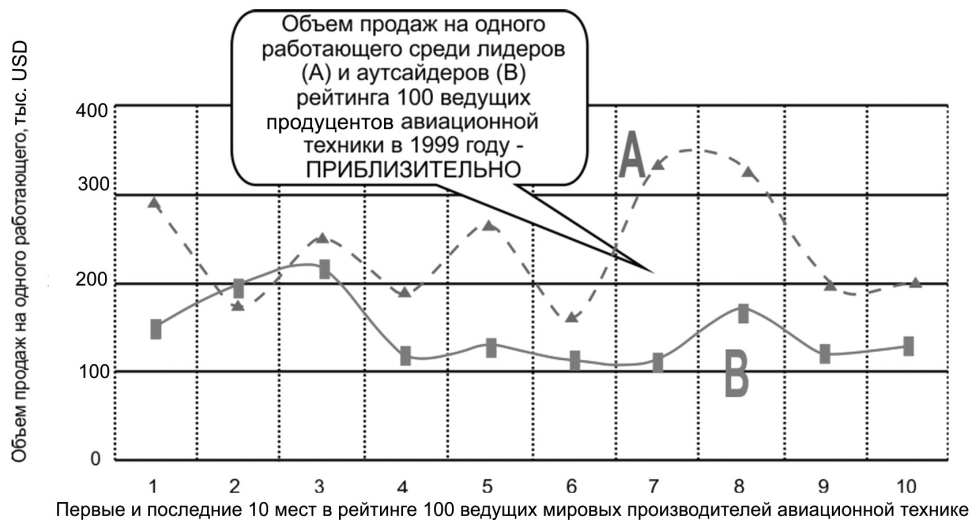


Рис. 4. Объемы продаж самолетостроения (лидеры и аутсайдеры)

### Постановка задачи

В общем случае следует отметить, что современное мировое авиастроение находится под влиянием большого количества разных тенденций, связанных с необходимостью постоянного поиска путей снижения трудоёмкости и себестоимости продукции, экономичности перевозок, а также с автоматизацией производственных бизнес-процессов, глобализацией в международной производственной кооперации, бескомпромиссной конкурентной борьбой и поглощениями слабых производителей авиационной техники более сильными и успешными. Лидеры стран с успешной экономикой заинтересованы авиастроением для трансформации структуры национального производства, понимая, что именно в этой отрасли формируется наивысшая прибавочная стоимость.

Не все существующие тенденции имеют глобальный характер, тем более – глобальное влияние. Актуальной задачей становится выделение именно тех общих тенденций, которые в обозримом будущем станут определять облик самолетостроительной отрасли. Особенно важно определить такие глобальные тенденции для ситуации, когда планируется осуществлять перезапуск самолетостроения, для организации вновь серийного авиационного производства.

Дальше кратко рассматриваются основные, как нам представляется, тенденции изменений в самолетостроении, которые авторы обосновывают как ключевые и главные для развития этой наукоемкой отрасли машиностроения. Намеренно упрощенный анализ вышеуказанных тенденций также может стать полезным для рассмотрения и обоснования других подобных обобщений.

Наше представление подкреплено многолетним опытом участия в самолетостроительных проектах

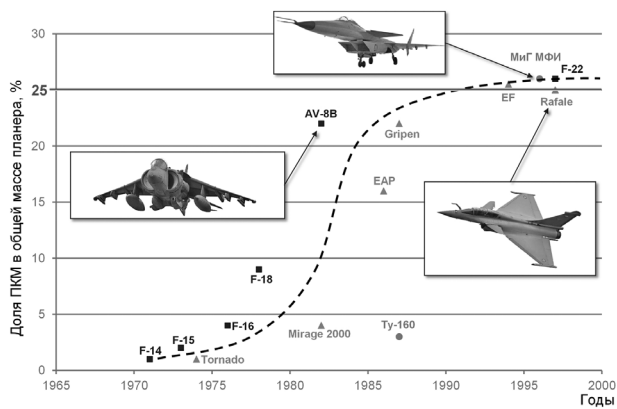
этого века, в том числе отечественных и международных проектах по созданию производств самолетов Антонов-70, Антонов-148/158, Антонов-178, SSJ-100, MC-21, Airbus-350, а также участием в международных проектах, конференциях, выставках, знакомством с производственным потенциалом основных изготовителей авиационной техники, в том числе Boeing, Airbus.

### Современные тенденции

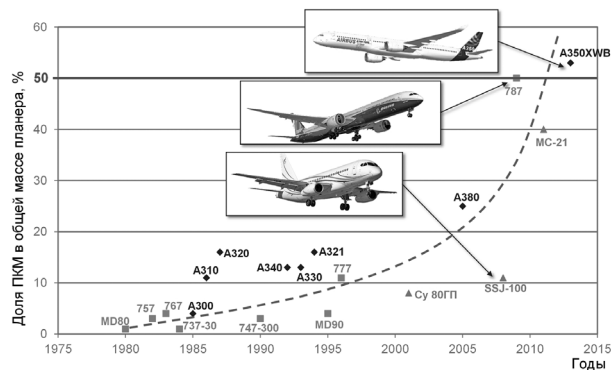
**Первой** ключевой современной тенденцией является создание конструкций планера с высоким уровнем интегральности как основной путь сокращения количества деталей, сборочных единиц и крепежных элементов. Эта тенденция реализуется на основе киберфизических систем производства и применения «интеллектуальных» компонентов, способных к самоорганизации и обработке запросов от систем управления более высокого уровня, в том числе за счет:

- широкого использования полимерных композиционных материалов (ПКМ), в том числе для высоконагруженных агрегатов и узлов планера (рис. 5);
- применения высокопроизводительных методов обработки/сборки и оборудования для получения конструкций специальной формы, которые не требуют дополнительных операций/работ (рис. 6);
- применения аддитивных технологий для изготовления деталей/узлов.

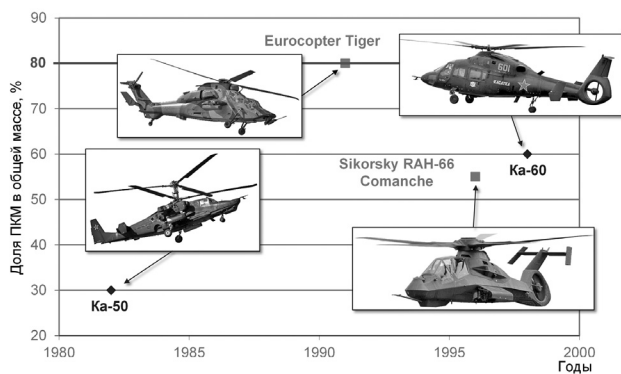
Применение полимерных композиционных материалов обеспечивает возможность эффективного укрупнения (интеграции) сборочных конструкций. Вместо трудоёмкой сборки крупногабаритных конструкций крыла и фюзеляжа, состоящих из отдельных конструкций и обычно изготавливаемых из традиционных металлических материалов, с при-



а



б



в

**Рис. 5.** Использование ПКМ в конструкциях летательных аппаратов:  
а – самолеты военной авиации;  
б – самолеты гражданской авиации;  
в – военные вертолеты

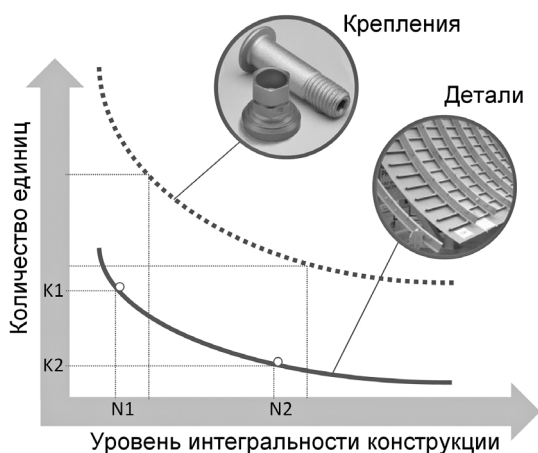
менением ПКМ появляется возможность изготавливать интегральные конструкции, объединяющие все входящие узлы. Для таких технологий требуется дорогостоящее специализированное и специальное технологическое оборудование, позволяющее автоматизацию сборочных работ.

В рамках рассматриваемой тенденции при производстве планера самолета применяются два подхода в области использования ПКМ (рис. 7): фор-

мирование интегрированной сборно-моноконтрукции сразу целиком (например, намоткой цельных полумонокотков секций балочно-стрингерной конструкции фюзеляжа самолетов Boeing – Dreamliner B787) либо использование крупногабаритных панелированных секций для изготовления-сборки интегральных конструкций фюзеляжа (на примере самолетов Airbus – A380, A350XWB).

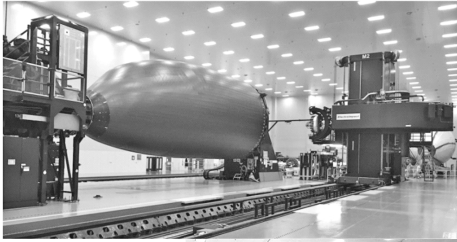
Следующая, **вторая** по счету, важнейшая **тенденция** – это переход от «аналоговых» методов проектирования и изготовления деталей/узлов к «функционально-технологическим». Основные пути реализации этого состоят в следующем. Всё время развития авиастроения конструкторы при создании новых самолётов и разработке типовых элементов (деталей, узлов) полагались, во многом, на опыт предшественников, используя их, так сказать виртуальные базы данных, которые, как правило, включали в себя и соответствующую технологию изготовления. В последние десятилетия эффективным инструментом конструкторов стали автоматизированные базы данных, используемые в разнообразных системах проектирования (рис. 8, рис. 10).

Наряду с преимуществами, такой метод проектирования, назовём его «аналоговым», имел и существенный недостаток: сложно было увеличить интегральность конструкции.



**Рис. 6.** Использование ПКМ – эффективный путь уменьшения трудоемкости производства и расширение возможностей повышения уровня автоматизации

НАМОТКА



**BOEING**  
B787



**AIRBUS**  
A350XWB хвостовой отсек

ВЫКЛАДКА и СБОРКА



**AIRBUS**  
A380, A350XWB

Рис. 7. Два подхода в области использования КМ при производстве планера самолета

Проектирование по аналогам (по подобию)

$$TZ \Rightarrow \min_d \max_{\theta} \Phi(d, x, \theta)$$

$d$  – вектор проектных параметров  
 $x$  – вектор состояний системы  
 $\theta$  – вектор системных параметров

$$h(d, x, \theta) = 0$$

– функции модели процесса системы

$$g(d, x, \theta) \leq 0$$

– функции технологических ограничений системы

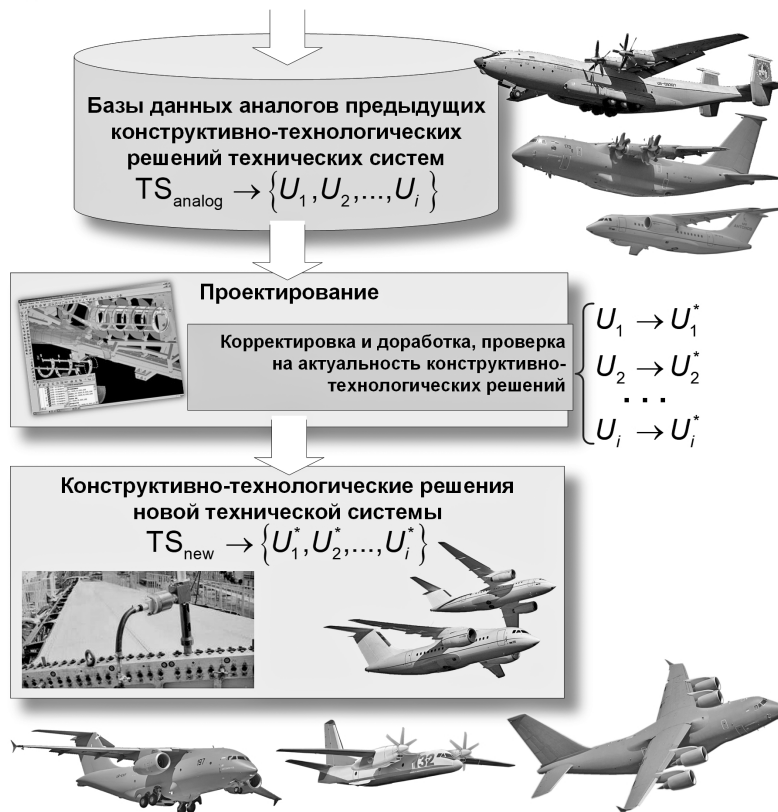


Рис. 8. Современный аналоговый метод проектирования

**Конструирование по заданным функциям**  
(без требований по унификации и конструктивной наследственности)

$$TZ \Rightarrow \min_d \max_{\theta} \Phi(\mathbf{d}, \mathbf{x}, \theta)$$

$\mathbf{d}$  – вектор проектных параметров  
 $\mathbf{x}$  – вектор состояний системы  
 $\theta$  – вектор системных параметров

$h(\mathbf{d}, \mathbf{x}, \theta) = 0$  – функции модели процесса системы  
 $g(\mathbf{d}, \mathbf{x}, \theta) \leq 0$  – функции технологических ограничений системы

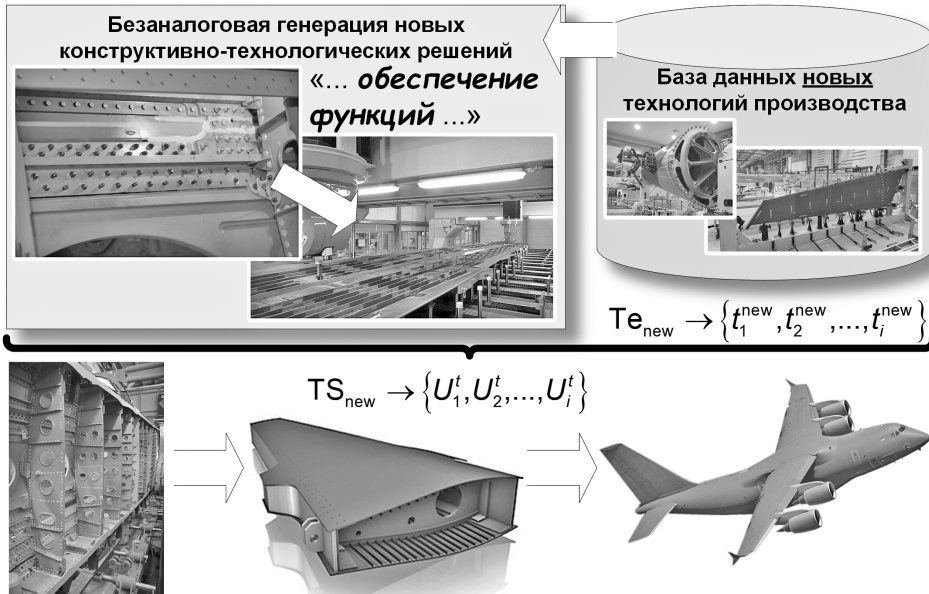


Рис. 9. Перспективный функционально-технологический метод конструирования

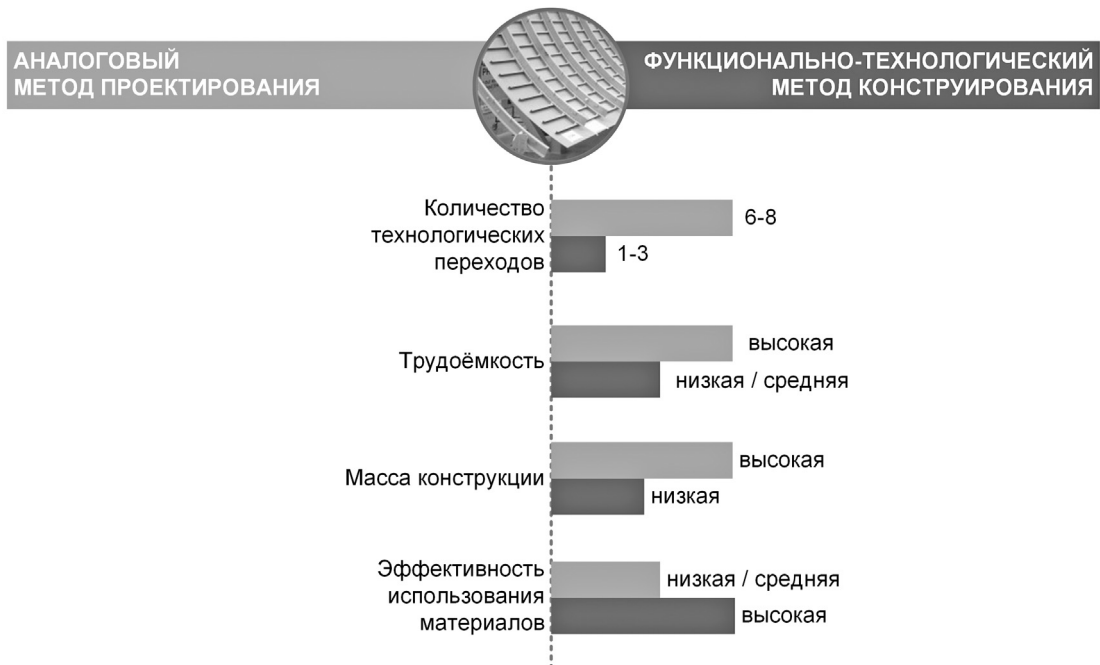


Рис. 10. Методы проектирования агрегатов и узлов планера самолёта

В настоящее время с появлением новых и новейших технологий производства, в том числе вышеупомянутых, технология в широком понимании

смысла этого понятия – как метод производства, перестаёт быть фактором, ограничивающим фантазию конструктора. В идеале технолог теперь может

АНАЛОГОВЫЙ  
МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ

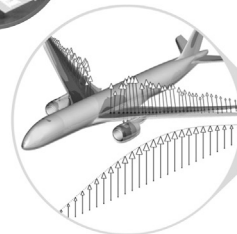
ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
МЕТОД КОНСТРУИРОВАНИЯ



Формообразование



Фрезерование



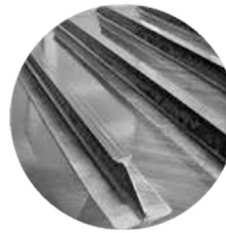
Определение функций и нагрузок



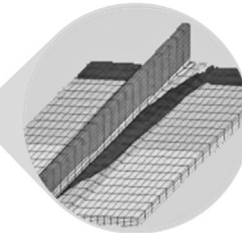
Клёпка  
со стрингерами



Обработка по контуру



Изготовление  
монокрипных конструкций



Моделирование  
конструкции

Рис. 11. Сравнение характеристик «аналогового» и «функционально-технологического» методов проектирования агрегатов и узлов планера самолёта

утверждать, что возможно изготовить деталь или узел любой формы сложности и точности. Таким образом всё более широко стали использоваться так называемые функционально-технологические методы проектирования, в которых главным критерием формы детали выступает её функциональное назначение, а технология предназначена обеспечить эту форму (рис. 8–10).

Очевидно, что использование функционально-технологических методов конструирования (или проектирования) стало возможным благодаря разработанным в последние годы новым высокопроизводительным технологиям производств, в том числе:

- пультрузионным технологиям в производстве деталей из полимерных композиционных материалов;
- аддитивным технологиям (HP Multi-Jet Fusion);
- автоматизированным высокоскоростным киберфизическим модулям в механообработке.

Это сулит дальнейший прогресс в создании новых образцов авиационной техники (рис. 11).

Кстати, аналогичные тенденции «снижения технологических ограничений» прослеживаются и в других наиболее динамично развивающихся сферах производства (рис. 12).

**Третьей** важной тенденцией развития современного самолётостроения является использование гибких адаптивных производственных сборочных систем. Основными элементами этой тенденции являются:

- повышение индивидуализации продукции, способность легко перестраиваться к производству с меньшими партиями изделий;
- вариативность производства;
- способность адаптироваться к меняющимся условиям производства.

В этой области деятельности также существуют конкурентные направления развития – акцент разработчиков технологических систем, в том числе, на широкое использование роботизированных систем (например, исполнения фирмы MТogres) или более широкое применение автоматизированных станков (например, фирмы Broetje GmbH). Но суть остается единой – как можно больше автоматизировать процесс, предусмотреть возможность его гибкой переналадки, оставить человеку в производстве только функции оператора-наладчика системы. Такой подход также упрощает процесс создания инфраструктуры новых производств, расширяя их функциональность. Габариты производственных помещений, мощности энерго- водо- обеспечения проектируются из условий максимально возможных показателей производства, а далее все гибко подстраивается под заданную его программу.

Наконец, **четвёртой** немаловажной тенденцией современного самолётостроения является широкое использование идеологии проектного менеджмента. Это связано, в первую очередь, с ускоряющимися темпами развития и обострением конкурентной борьбы на рынке авиастроения. Слишком здесь высоки ставки у победителей – удельные и общие



**Электромобиль LSEV**  
 Производитель – компания Polymaker (Китай) и X\_Electrical\_Vehicle (XEV) (Италия)  
 С помощью технологии 3D-печати удалось заменить 2 тыс. деталей (типовая технология) на **57 деталей**

**Родстер STRATI**  
 Производитель – компания LOCAL MOTORS  
 Кузов автомобиля изготовлен с помощью технологии 3D-печати

**Рис. 12.** Снижение влияния технологических ограничений: общий тренд развития современной инженерии [3–4]

показатели выработки или объёмов производств, экологичность производства.

Организационно-управленчески такие задачи можно наиболее успешно решать в рамках идеологии проектного управления. И действительно, ICAO ввел в своих документах использование стандартов проектного управления в ранг требований к разработчикам.

В связи с рассмотренными здесь тенденциями можно укрупненно оценить ближайшие потребнос-

ти для успешного развития **отечественного авиастроения**. Во-первых, это должно быть высокотехнологичное производство, которое может эффективно развиваться за счет слияния технических и бизнес-процессов с участием как менеджеров, так и инженеров. Важное и основное здесь:

- развитие принципов и методов проектного управления;
- развитие специальных методов менеджмента – процессного подхода к производству;



**Рис. 13.** Всеобщее внедрение проектного менеджмента в авиастроении



- развитие системы менеджмента качества.

Во-вторых, перспективы отечественного самолетостроения связаны со следующими направлениями деятельности:

- международные авиационные проекты производства самолетов собственного проектирования;
- международная производственная кооперация с мировыми лидерами авиастроения (Boeing и другие) (сотрудничество с аутсорсингом);
- международные проекты в области исследований (R&D) по заказу международных организаций;
- участие высококвалифицированных научных/промышленных кадров авиационной отрасли Украины в международных самолетостроительных проектах с использованием некоего украинского «провайдера» (например, центры компетенций) с целью поддержки и развития их квалификации.

### Заключение

Ознакомившись с нашим видением основных тенденций развития мирового самолетостроения, уместно оценить возможное место отечественных предприятий наукоемкого машиностроения в этих возможных процессах. Очевидно, что в связи с утерей рынков потребителей изделий украинского производства, технологической и прочей деградации некогда мощной структуры самолетостроительного производства (в отдельные годы выпускалось около 200 самолетов среднего класса в год, причём на технологиях 50–80-х годов прошлого века), возможности интеграции в мировое самолетостроение существенно сужены. Поэтому, не останавливаясь на деталях, нам представляется возможным высказать в этой связи некоторые суждения.

1. При принятии решений о разработке оригинальной конструкции определяющим показателем должен стать потенциальный и реальный спрос на будущую продукцию, рассчитанный не менее чем на ближайшие 10–15 лет. Как показывает опыт, должна быть перспектива заказа не менее чем на 100 самолетов.

2. Очевидно, что, исходя из наличествующих компетенций специалистов, можно было бы расширить «линейку» предлагаемых продуктов – более эффективно и настойчиво вводя в неё самолетостроительные проекты, как на готовые изделия, так и на отдельные агрегаты и узлы – возможно по требованию заказчика.

3. Здесь могут появиться проекты на выполнение по аутсорсингу отдельных работ, на которые у отечественных предприятий имеются соответствующие компетенции и сертификаты признания этих компетенций. Например, проекты по испытаниям отдельных систем, агрегатов.

4. Перспективным является расширение участия отечественных разработчиков в различных

международных проектах (перечни тендерных запросов только в европейском сообществе объявляются дважды в год).

5. В качестве обязательного направления развития следует также назвать поиск и участие в международных проектах, причём не только с конечным продуктом-самолётом, но и продуктом-производством и продуктом-агрегатом (узлом) в рамках международной производственной кооперации.

6. Возможно, как временную меру, следовало бы позволить отдельным специалистам самолётостроительных предприятий индивидуально участвовать в международных проектах, организовав для этого соответствующую специализированную среду и систему.

Часть из приведенных здесь предложений могут показаться спорными или дискуссионными, но мы исходим из нашего многолетнего опыта участия в разработке национальных программ развития авиастроения и, в этой связи, формулируя предложения, ориентируемся только на собственные ресурсы предприятий, не ожидая существенных преференций от государства. Всё это ещё, возможно, может найти поддержку в коллективах, имеющих славное прошлое, и, надеемся, не менее славное будущее.

### Аббревиатуры

АТ – авиационная техника

ПКМ – полимерные композиционные материалы

ICAO – Международная организация гражданской авиации – специализированное учреждение ООН – The International Civil Aviation Organization

R&D – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, разработки – Research and Design.

### Литература

- [1] Интернет-сайт: [https://www.asd-europe.org/sites/default/files/atoms/files/ASD\\_F\\_F2015\\_web\\_spreads\\_Nov.pdf](https://www.asd-europe.org/sites/default/files/atoms/files/ASD_F_F2015_web_spreads_Nov.pdf).
- [2] Кривов, Г. А. Пути совершенствования авиационного производства [Текст] / Г. А. Кривов // Технологические системы. – № 1(1). – 1999. – С. 7–10. – ISSN 2074-0603. <http://technological-systems.com/images/journal/1999/files/ts01.pdf>.
- [3] Интернет-сайт: <https://www.ixbt.com/news/2018/03/26/lsev--pervyj-serijnyj-avtomobil-u-kotorogopochti-vse-vidimye-detali-napechatany-na-3dprintere.html>
- [4] Интернет-сайт: <https://launchforth.io/localmotors/strati-the-worlds-first-3d-printed-car/latest/>

Krivov G. A., Zvorykin C. O.

Ukrainian Research Institute of Aviation Technology, JSC. Ukraine, Kiev

## KEY TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF GLOBAL AIRCRAFT MANUFACTURING AND PARTICIPATION OF UKRAINIAN ENTERPRISES IN THE INTEGRATION PROCESSES

*There are shown that it is expedient to identify common trends that will determine the shape of the aircraft industry. The authors consider the main tendencies of changes in aircraft construction, which are substantiated as key and main for the development of this science-intensive branch of machine building.*

*The first trend is characterized as the creation of glider designs with a high level of integration as the main way to reduce the number of parts, assembly units and fasteners.*

*The main ways of implementing the second key trend are presented, which is characterized as a transition from "analog" methods of designing and manufacturing parts/assemblies to "functional-technological" ones.*

*The basic elements of the third trend of development of modern aircraft construction are shown, which is characterized as the use of flexible adaptive production assembly systems. Another important trend in the development of aircraft construction is the widespread use of the ideology of project management, which, first of all, is due to the accelerating pace of development and the aggravation of competition in the aircraft manufacturing market.*

*Some judgments of the authors are given regarding the possibility of integration of Ukrainian aircraft manufacturing enterprises into world aircraft industry. [dx.doi.org/10.29010/083.2]*

*Keywords:* aircraft manufacturing; high-tech products; industrial cooperation; certification.

### References

- [1] Internet: [https://www.asd-europe.org/sites/default/files/atoms/files/ASD\\_F\\_F2015\\_web\\_spreads\\_Nov.pdf](https://www.asd-europe.org/sites/default/files/atoms/files/ASD_F_F2015_web_spreads_Nov.pdf).
- [2] Krivov, G. A. Directions of improvement of aircraft production [Text] / G. A. Krivov // Technological Systems. – #1(1).– 1999. – P. 7–10. – ISSN 2074-0603. <http://technological-systems.com/images/journal/1999/files/ts01.pdf>.
- [3] Internet: <https://www.ixbt.com/news/2018/03/26/lsev--pervyj-serijnyj-avtomobil-u-kotorogo-pochti-vse-vidimye-detali-napechatany-na-3dprintere.html>
- [4] Internet: <https://launchforth.io/localmotors/strati-the-worlds-first-3d-printed-car/latest/>.