

Выбор рациональных конструктивно-силовых схем агрегатов самолета из композитов

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Рассмотрен процесс проектирования и выбора конструктивно-силовой схемы агрегатов самолета. Показана целесообразность рассмотрения нескольких конструктивно-силовых схем агрегата на примере конструкции двери и рампы грузового люка транспортного самолета. Рассмотрен алгоритм проектирования композитных балок.

Ключевые слова: проектирование, конструктивно-силовая схема, самолет, агрегат, балка, композит.

Проектирование является наиболее ответственным этапом разработки конструкции. Основная трудность проектирования заключается в необходимости комплексного учета всех требований. Процесс создания наилучшей конструкции получил название оптимизации или оптимального проектирования. С первого взгляда достаточно составить математическую модель проектируемого объекта и найти его оптимальные параметры. Однако данную задачу нельзя решить достаточно корректно, т.к. оптимальные параметры определяются лишь для заданной конструктивно-силовой схемы (КСС). А является ли она оптимальной? Именно по этой причине зачастую разрабатывается несколько КСС, оптимизируя которые, останавливаются на самой лучшей. Но есть ли уверенность, что конструктор рассмотрел все возможные варианты? Разработка КСС во многом определяется инженерной изобретательностью, эрудицией, интуицией, опытом и пониманием условий функционирования создаваемого объекта. Определение наилучшей КСС – более широкая и важная задача, чем определение оптимальных параметров для заданной схемы.

Под КСС понимают совокупность конструктивных элементов, обеспечивающих геометрическую неизменяемость конструкции под действием внешних нагрузок. Рациональной является схема, в которой действующие силы замыкаются на более коротких участках при помощи элементов, работающих преимущественно на растяжение или сжатие. При анализе различных вариантов КСС определяется, какой из них наилучшим образом отвечает основным требованиям, рассматриваются возможные материалы и способ изготовления, как основных деталей, так и всей конструкции в целом. Лизин В.Т. в работе [1] обращает внимание на различие понятий оптимальности и рациональности: оптимизация связана с минимизацией целевой функции, рациональность же не предполагает существование какого-либо функционала, а выражается в самостоятельном, дополнительном требовании проектировщика к конструкции.

Функционирование самолета обеспечивается большим количеством различных агрегатов. К основным агрегатам транспортного самолета относятся органы управления и средства механизации (рули, элероны, закрылки и др.), двери, тормозные щитки, створки передней и основной опор шасси, крышки люков, рампы и створки грузового люка, трапы и многое другое (рис. 1). Вопрос выбора рациональных конструктивно-силовых схем агрегатов самолета чрезвычайно важен, т.к. основным требованием является обеспечение минимума массы конструкции, что влечет за собой улучшение топливной эффективности и возможность перевозки более тяжелых грузов.



а

б



в



г



д

Рис. 1. Основные агрегаты самолета:
а – дверь-трап и створка передней опоры шасси Ан-158; б – рампа, створка и трапы грузового люка Ан-70; в – грузовой люк Ан-124; г – хвостовое оперение Ан-148; д – двери, люки, элементы механизации крыла Ан-158.

Ранее в работе [2] был обоснован и сформулирован основной принцип

конструирования дискретно-опертых агрегатов – обеспечение монотонно изменяющегося простого напряженно-деформированного состояния во всех элементах конструктивно-силовой схемы.

Рассмотрим возможность реализации сформулированного принципа на примере некоторых агрегатов как пассажирских, так и транспортных самолетов.

Неотъемлемой частью конструкции любого вида самолета являются двери. Основными требованиями являются обеспечение функциональности самой двери и герметичности салона самолета. Их конструкции в целом достаточно похожи, а отличия заключаются в способе открытия-закрытия двери (внутри или наружу самолета), вариантах расположения узлов навески и замков, а также элементах механизации. Возможные КСС двери представлены на рис.2.

1. Обшивка с окантовкой по контуру (рис.2, а). В этом случае панель обшивки находится в сложном напряженном состоянии, воспринимает основную нагрузку от внутреннего давления, создаваемого в кабине самолета, и передает ее на окантовывающие продольные и поперечные балки, на которых располагаются узлы навески и элементы фиксации двери с каркасом фюзеляжа.

2. Обшивка, подкреплённая поперечными балками (рис.2, б). В этой КСС нагрузка от поперечных балок передается на продольные каркасные балки.

3. Обшивка, подкреплённая продольными балками (рис.2, в). Здесь нагрузка от продольных балок передается на поперечные каркасные балки.

4. Обшивка, подкреплённая продольными и поперечными балками (рис.2, г).

Выбор КСС зависит от расположения узлов навески и фиксации двери, а также от сравнительного массового анализа нескольких вариантов.

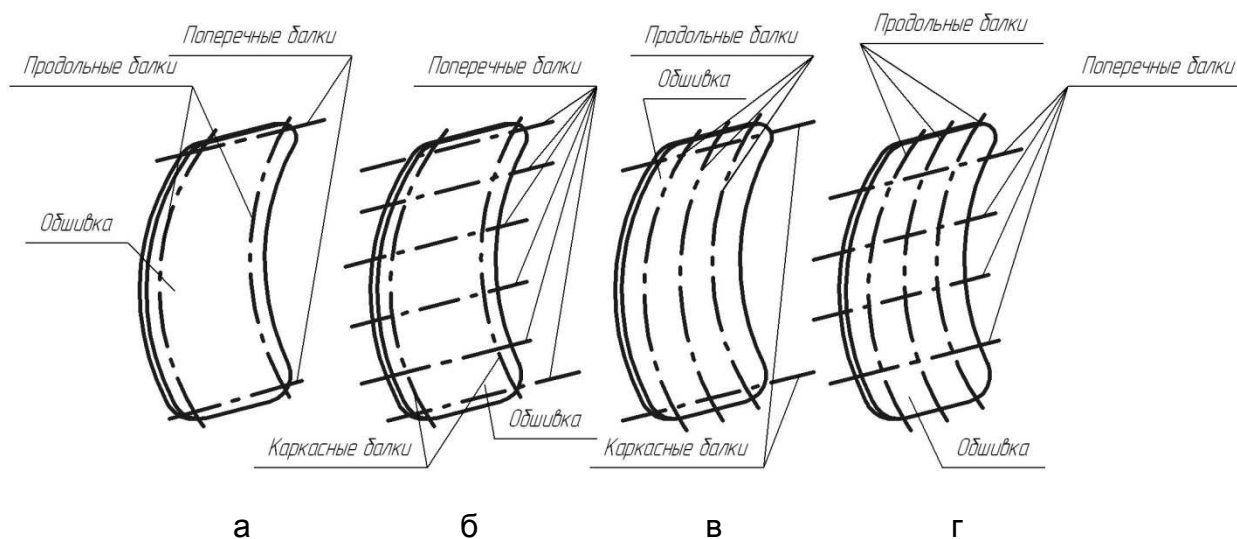


Рис. 2. КСС двери самолета:

- а – обшивка с окантовкой по контуру; б – обшивка, подкреплённая поперечными балками; в – обшивка, подкреплённая продольными балками; г – обшивка, подкреплённая продольными и поперечными балками.

Важным элементом грузового люка любого транспортного самолета является рампа (рис. 1, б и в), которая служит для погрузки, разгрузки и швартовки грузов, транспортируемых самолетом. Наличие рампы, а также погрузочно-разгрузочного оборудования, установленного на самолете, позволяет загружать и выгружать самоходную гусеничную и колёсную технику,

несамоходную колёсную технику, платформы с грузами, а также осуществлять погрузку и выгрузку поддонов различных контейнеров и других видов грузов. Техника и грузы, в зависимости от их типа и массы, размещаются на полу грузовой кабины и на рампе самолета в один или два ряда, согласно допустимыми нагрузками, определяемым для каждого самолета.

КСС рампы аналогичны рассмотренным выше КСС двери.

1. Верхняя и нижняя обшивки с окантовкой по контуру (рис. 3, а).
2. Верхняя и нижняя обшивки, подкрепленные продольными и поперечными балками (рис.3, б).
3. Верхняя и нижняя обшивки, подкрепленные системой поперечных балок (рис.3, в).
4. Верхняя и нижняя обшивки, подкрепленные системой продольных балок (рис.3, г).

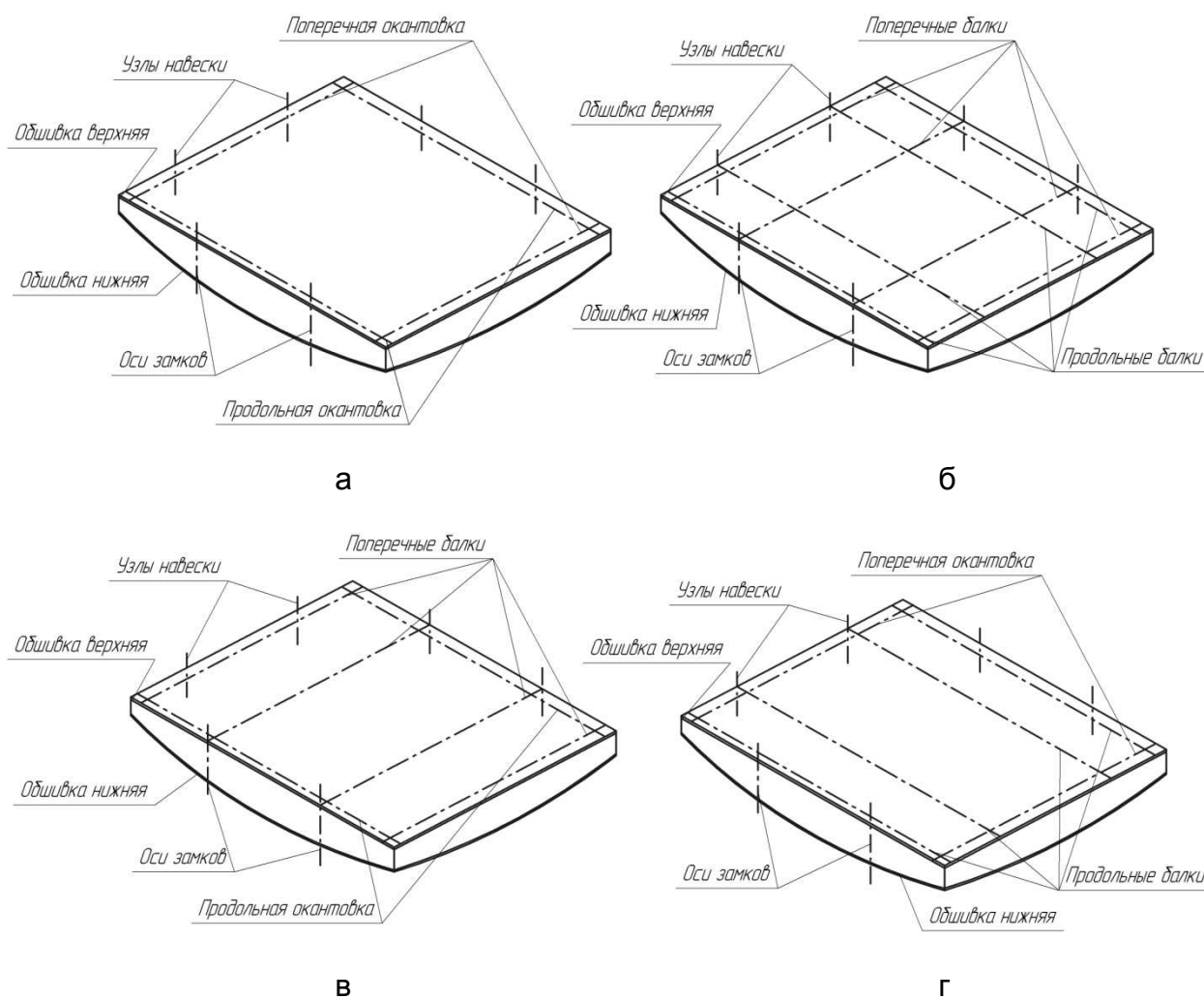


Рис. 3. КСС рампы грузового люка транспортного самолета:
а – обшивки с окантовкой по контуру; б – обшивки, подкрепленные продольными и поперечными балками; в – обшивки, подкрепленные поперечными балками; г – обшивки, подкрепленные продольными балками.

Учитывая все возможные виды нагружения рампы в полете, при погрузке и

разгрузке самолета, большое разнообразие погружаемой техники (габариты, массовые характеристики, колесные базы, профили и давление шин и т.д.) очевидно, что наиболее целесообразной является вторая конструктивно-силовая схема (рис. 3, б). Именно такая КСС присуща большинству конструкций рамп транспортных самолетов как украинского, так и зарубежного производства. Но, конечно же, целесообразно провести расчеты и сравнить массы нескольких КСС.

Как видно из сказанного выше, основным конструктивным элементом любого агрегата является балка, поэтому рассмотрим алгоритм проектирования композитных балок.

Вначале по известным формулам механики сопротивления материалов определяются опорные реакции и строятся эпюры внутренних силовых факторов (осевой и поперечной силы, изгибающего момента). При этом рассматриваются несколько расчетных случаев нагружения, расчет ведется по наиболее опасному.

Любой расчет ведется с учетом коэффициента безопасности, который каждое предприятие, проектирующее самолеты, определяет и прописывает в своих внутренних регламентирующих документах.

Параметры стенок и полок балок определяются с учетом принятых в [3, 4] допущений. Балка воспринимает перерезывающую силу, а ее элементы – полки и стенка – работают преимущественно на растяжение (сжатие) и на сдвиг соответственно. При такой организации силовых потоков можно достичь высокой отдачи от использования композитов. Учитывая характер работы элементов балки [4], для стенки целесообразно применять укладку слоев армирующего материала $[\pm 45^\circ]$, а для полок – $[0^\circ]$.

Целевая функция проектирования балок имеет вид:

$$G = [\rho_{пл} \cdot B \cdot (\delta_{пв} + \delta_{пн}) + \rho_{ст} \cdot \delta_{ст} \cdot (H + 2(B - \delta_{ст}))] \cdot L \rightarrow \min, \quad (1)$$

где G – масса балки,

B – ширина полки балки,

H – высота балки,

L – длина балки,

$\rho_{пл}$ – плотность материала полки,

$\rho_{ст}$ – плотность материала стенки,

$\delta_{пв}$ – толщина верхней полки,

$\delta_{пн}$ – толщина нижней полки,

$\delta_{ст}$ – толщина стенки.

Рассмотрим однородную стенку балки, толщина которой определяется из условия прочности на сдвиг:

$$\delta_{ст} = \frac{Q_y}{H \cdot F_{xy}}, \quad (2)$$

где Q_y – поперечная сила,

F_{xy} – предел прочности на сдвиг материала стенки.

Необходимо выполнить проверку стенки балки на устойчивость:

$$Q_{кр} \geq Q_{действ}, \quad (3)$$

где $Q_{кр}$ – критические касательные усилия в стенке,

$Q_{действ}$ – действующие касательные усилия в стенке.

В случае невыполнения условий устойчивости, используют два основных

способа их обеспечения: увеличением толщины стенки за счет введения дополнительных слоев из основного материала или применением стенки с сотовым наполнителем.

При проектировании балки ширина полок на всех участках принимается одинаковой, что существенно упрощает технологию изготовления. Минимальная ширина полок определяется из условия прочности соединения полок и заплечиков:

$$B_{min} = \frac{Q_y}{H \cdot F_{мс}}, \quad (4)$$

где $F_{мс}$ – предел прочности материала на межслойный сдвиг.

Ограничение по прочности для полок записывается в следующем виде:

$$F_{сж} \leq \sigma_{сж} \leq F_{сж}, \quad (5)$$

$$F_{мс} \leq \sigma_{н} \leq F_{нр}, \quad (6)$$

где $\sigma_{сж}$, $\sigma_{н}$ – напряжения в верхней и нижней полке, соответственно,

$F_{сж}$, $F_{нр}$ – пределы прочности на растяжение верхней и нижней полки,

$F_{сж}$, $F_{мс}$ – пределы прочности на сжатие верхней и нижней полки.

Ограничение по устойчивости для полок имеет вид:

$$Q_{нр} \geq Q_{действ}, \quad (7)$$

где $Q_{нр}$ – критические касательные усилия в полке,

$Q_{действ}$ – действующие касательные усилия в полке.

Толщину полок балок целесообразно принять постоянной по всей длине. При проектировании, помимо ограничений по прочности и устойчивости, учитываются и ограничения по прогибу:

$$\omega_{расч} \leq \omega_{допуст}, \quad (8)$$

где $\omega_{расч}$ – расчетное значение прогиба,

$\omega_{допуст}$ – допустимое значение прогиба.

Технологическими ограничениями на проектные параметры является целое число монослоев армирующего материала полок и стенок, а также максимальные толщины, что может быть обусловлено применяемым оборудованием и технологией изготовления изделий из композиционных материалов (КМ) на том, или ином предприятии.

Таким образом, после определения масс основных конструктивных элементов и проведения сравнительного анализа нескольких КСС агрегата самолета, даже в первом приближении, можно определить наилучшую конструктивно-силовую схему. Такой сравнительный анализ целесообразно провести для каждого агрегата. Данная работа будет эффективной, т.к. большинство семейств самолетов обладает идентичной конструкцией, которая характеризуется типовыми конструктивными решениями, похожими КСС. По ее результатам на фирмах, занимающихся проектированием и производством самолетов, можно составлять руководящие технические документы и т.п., что в будущем значительно упростит труд инженеров-конструкторов и сократит время, необходимое для проектирования конструкции нового самолета.

Список литературы

1. Лизин В.Т., Пяткин В.А. Проектирование тонкостенных конструкций. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 344 с.

2. Карпов Я.С. Общий подход к проектированию конструктивно-силовой схемы дискретно-опертых агрегатов самолетов из композитов / Я.С. Карпов, Я.О. Головченко // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 3 (75).– Х., 2013. – С. 7 – 12.

3. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 270 с.

4. Карпов Я.С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов: учебник / Я.С. Карпов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 768 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.А. Бычков,
Государственное предприятие «Антонов», Киев

Поступила в редакцию 04.02.2014

Вибір раціональних конструктивно-силових схем агрегатів літака з композитів

Розглянуто процес проектування і вибору конструктивно-силової схеми агрегатів літака. Показана доцільність розгляду декількох конструктивно-силових схем агрегату на прикладі конструкції дверей і рампи вантажного люка транспортного літака. Розглянуто алгоритм проектування композитних балок.

Ключові слова: проектування, конструктивно-силова схема, літак, агрегат, балка, композит.

Choice of the aircraft composite units' rational constructive-bearing scheme

The process of design and selection of the aircraft units' constructive-bearing scheme were considered. The expediency of the considering several aircraft unit constructive-bearing schemes was demonstrated by the example of the door and ramp constructions of the transport aircraft. Design algorithm of the composite beams was considered.

Keywords: design, constructive-bearing scheme, aircraft, beam, composite.