

В элементах интерьера современного магистрального самолета Ту-204-300 повышенной комфортности широко использованы трехслойные панели из полимерных композиционных материалов производства ЦАТИ, позволяющие заметно снизить массу самолета (фото: www.aviastar-sp.ru)



# Возможности снижения массы элементов интерьера современных пассажирских самолетов

С момента зарождения пассажирской авиации авиаконструкторы и авиастроители постоянно боролись за снижение массы самолета в целом, включая не только силовые элементы его агрегатов и узлов, но и элементы интерьера. Актуальность этой задачи не только сохраняется, но и возрастает в современных условиях конкурентного авиационного рынка, поскольку даже незначительное снижение массы многотонного летательного аппарата позволяет улучшить его технико-экономические преимущества, заключающиеся в повышении полезной нагрузки, увеличении потолка и дальности полета, снижении расхода топлива и др. (так называемый каскадный эффект). Наиболее эффективным решением в этом отношении является, как известно, широкое использование в нагруженных и менее нагруженных элементах самолета полимерных композиционных материалов и трехслойных конструкций на их основе.

**С. Ф. Ильюшенко**, к. т. н., заслуженный машиностроитель РФ, научный руководитель,

**П. И. Середута**, начальник лаборатории, ООО «Центр авиационных технологий и интерьера» (ЦАТИ)

## Введение

Как правило, современные элементы интерьера проектируются и изготавливаются в виде трехслойных конструкций (ТСК) различной кривизны, представляющих собой две тонкие жесткие обшивки, соединенные с расположенным между ними легким низкомолекулярным наполнителем в виде сот или пенопласта.

В большинстве случаев конструктор самолета старается спроектировать интерьер как можно прочнее и надежнее в эксплуатации, что влечет за собой применение необоснованно тяжелых препрегов для обшивок, сотового наполнителя с большой кажущейся плотностью, излишнее количество металлического крепежа. Если добавить к этому

массу отделочных материалов и различных комплектующих интерьера, то в итоге получаются достаточно внушительные массовые характеристики. Например, суммарная масса элементов штатного интерьера самолета Ту-214, изготовленного из трехслойных сотовых конструкций без какой-либо отделки и комплектации, составляет около 2 т.

В середине 1980-х гг., в заключительный период бурного развития советской авиации (Ту-154, Ил-62, Ил-96, Ту-204 и т. д.), появление в отечественном авиастроении современных норм АП-25 по горючести, дымообразованию и тепловыделению потребовало их совмещения со стремлением дальнейшего снижения массы конструктивных элементов интерьера за счет применения ТСК. В результате для обшивок ТСК были выбраны новейшие на то время огнестойкие фенольные связующие, в частности, фенольное связующее ФП-520 (разработчик и производитель – ВИАМ), а для изготовления элементов интерьера из ТСК были применены сотовый наполнитель ПСП-1 (производитель – ОНПО «Технология») и стеклоткань на полуматрице Т-15(П) (производитель – Новополюцкий комбинат стеклотканей). Длительное время на серийных заводах интерьеры изготавливались из этих

материалов. Однако, некоторые их недостатки (недостаточная размерная точность сотового наполнителя, нерегулярность его ячеек, чрезмерная ворсистость стеклоткани на полуматрице, слишком низковязкое связующее в препрегах и пористая матрица после его отверждения) не позволяли получать качественную наружную поверхность. Для устранения этих недостатков требовалось применение большого количества шпатлевки, что приводило к необоснованному увеличению массы интерьера самолета. Учитывая небогатый выбор имевшихся в то время исходных материалов, можно сказать, что это все-таки было движение вперед.

#### Постановка задачи

Следует заметить, что вариантов и методов уменьшения массы ТСК, тем более без снижения их прочности, в принципе, не так много. Как известно, жесткость  $D$  ТСК,

от которой зависит прочность ТСК и ее прогиб под нагрузкой, в первом приближении (если пренебречь вкладом низко модульного наполнителя) пропорциональна модулю упругости  $E$  и толщине  $t$  обшивки, а также квадрату толщины (строительной высоты)  $C^2$  ТСК:

$$D \sim E \cdot t \cdot C^2.$$

Отсюда возникает конфликт интересов: получается, что снижение массы ТСК за счет уменьшения, например, толщины  $t$  обшивки (путем использования меньшего количества слоев препрега в обшивке или тканого наполнителя с меньшей поверхностной плотностью) или толщины наполнителя и, соответственно, строительной высоты  $C$  ТСК приводит к уменьшению жесткости ТСК. Более эффективным представляется использование препрегов на основе высоко модульных углеродных лент или тканей в обшивках ТСК взамен, например, гораздо более дешевых аналогов на основе стеклянных



**Рис. 1.** Многие высоко-, средне- и малонагруженные элементы интерьера самолета Ту-204-300, предназначенного для перевозки VIP-пассажиров и сопровождающих лиц, изготовлены из легких трехслойных панелей, разработанных и произведенных в ЦАТИ: а – конференц-зал; б – салон повышенного комфорта; в – кухня

волокон. В этом случае существенно повышается модуль упругости обшивок, но резко возрастает стоимость ТСК. «Безболезненным» и не вызывающим конфликт интересов при снижении массы ТСК выглядит применение клее-расплавных связующих, образующих сплошную смоляную пленку на поверхности ТСК, что позволяет значительно снизить количество выравнивающей шпатлевки, применяемой для создания качественной наружной поверхности.

С бурным развитием международных связей в постсоветский период, посещением выставок и конференций, а также дополнительной информации, предоставляемой интернетом, появилась возможность переосмыслить концепцию проектирования и изготовления элементов интерьера. Группой специалистов сначала в АНТК имени А.Н. Туполева, затем в ОАО «Туполев» и, наконец, в ООО «Центр авиационных технологий и интерьера» (ЦАТИ) на протяжении более 20 лет проводилась работа по подбору исходных компонентов, проектированию, проведению расчетов, разработке технологических процессов, изготовлению образцов, конструкций и целиком интерьера всего самолета, испытаниям и выбору оптимальных решений. Забегая вперед, следует отметить, что результаты данной работы, проведенной на основе расчетных методов, которых не так уж много для ТСК, обширного эксперимента, современных лабораторных и производственных мощностей и, самое главное, опыта, накопленного коллективом ЦАТИ, воплотились в серийное производство

легких элементов интерьера из ТСК для ряда пассажирских самолетов. Один из примеров – магистральный самолет Ту-204-300 повышенной комфортности (см. фото у заголовка статьи и рис. 1).

#### Выбор компонентов трехслойных панелей

На начальном этапе работ выбор был остановлен на ТСК, изготавливаемых из полуфабрикатов на основе сотового заполнителя в виде полимерной бумаги из арамидных волокон и стеклоткани, пропитанной фенольным связующим. Данные материалы достаточно хорошо выкладываются по различным, в том числе пространственно криволинейным, поверхностям, а после формования при повышенных температурах и отверждения фенольного связующего образуют прочные неразъемные соединения между собой.

В процессе работы был проанализирован и испытан практически весь спектр доступных сотовых заполнителей, включая соты фирм Euro-Composites (Люксембург), Hexcel Composites (Великобритания), ОНПП «Технология» (Россия, г. Обнинск), Aramicore Composites (КНР). Исследовались прочностные свойства сот с кажущейся плотностью около  $48 \text{ кг/м}^3$ , предварительно выбранной в качестве оптимальной для заполнителя ТСК интерьера. Соты первых трех компаний изготавливаются из полимерной бумаги фирмы DuPont (США), последней – из бумаги, произведенной в КНР. Как оказалось, наилучшими прочностными характеристиками обладают соты фирмы Aramicore Composites. Например, их прочность на сжатие

составила 1,52 МПа, в то время как сот Hexcel Composites – 1,45 МПа. Кроме того, в ценовом отношении соты Aramicore были дешевле остальных.

По результатам тестирования связующих нескольких западных фирм и российского связующего ФП-520, было решено остановиться на фенольном расплавном связующем марки НТ93 от фирмы Hexcel Composites, тем более, что оно хорошо совмещается со стеклотканями, используемыми той же фирмой и выбранными для обшивок ТСК.

В качестве наполнителя фенольных препрегов была выбрана сравнительно дешевая и доступная стеклоткань. А вот задачи по выбору оптимальной массы элементов интерьера решали путем выбора поверхностной плотности стеклоткани и схемы сборки слоев препрега на их основе. После длительного подбора и опробований остановились на двух типах стеклоткани с поверхностной плотностью  $\rho_{\text{пов}}$ , равной 290 и 120 г/м<sup>2</sup>. Путем комбинирования схемы укладки препрегов и количества наносимого на стеклоткань фенольного связующего было разработано несколько вариантов сотовых панелей различной толщины, каждый из которых целесообразно с точки зрения прочностных технологических и весовых параметров применять в изготовлении разных элементов интерьера самолета (все – на основе связующего типа НТ93, сот с кажущейся плотностью  $48 \text{ кг/м}^3$  и двухслойных обшивок):

- вариант I (с обшивками на основе стеклоткани со значением  $\rho_{\text{пов}}$ , равным 290 г/м<sup>2</sup>, и с 45%-ной ее пропиткой. Назначение – изготовление



**Рис. 2.** Образцы трехслойных панелей интерьера пассажирских самолетов и сотовых заполнителей на стенде ЦАТИ во время выставки «Композит-Экспо»

высоконагруженных элементов интерьера, таких как багажные полки, панели фальшборта, отсеки багажного отделения);

- вариант II (с обшивками на основе стеклоткани со значением  $\rho_{пов}$ , равным 290 г/м<sup>2</sup>, и с 45%-ной ее пропиткой, а также стеклоткани с  $\rho_{пов} = 120$  г/м<sup>2</sup> и с 58%-ной ее пропиткой. Назначение – изготовление средненагруженных элементов интерьера, таких как перегородки, туалеты, кухня, мебель, оконные панели и т. п.);

- вариант III (с обшивками на основе стеклоткани со значением  $\rho_{пов}$ , равным 120 г/м<sup>2</sup>, и с 58%-ной ее пропиткой. Назначение – изготовление панелей потолка и других малонагруженных деталей интерьера).

Схема сборки слоев обшивок для этих вариантов приведена в табл. 1

**Таблица 1.** Варианты сотовых панелей для элементов интерьера различного назначения

№	Назначение	Схема сборки слоев обшивок	Примеры изготавливаемых элементов интерьера
I	Высоконагруженные элементы интерьера		 Багажные полки    Панели фальшборта    Отсеки БГО
II	Средненагруженные элементы интерьера		 Перегородки    Кухня    Туалеты    Оконные панели
III	Малонагруженные элементы интерьера		 Потолки    Прочие элементы интерьера

*Примечание.* 1 и 2 – препрег на основе стеклоткани с поверхностной плотностью 290 и 120 г/м<sup>2</sup> соответственно; 3 – сотовый наполнитель с кажущейся плотностью 48 кг/м<sup>3</sup>.



**Таблица 2.** Показатели некоторых физико-механических свойств трехслойных панелей интерьера с различной строительной высотой (С) и с различными вариантами (I/II/III) сборки слоев обшивок панелей

Показатель	С, мм				
	5,8	10,8	15,8	20,8	25,8
$M$ , кг/м <sup>2</sup>	2,40/1,85/1,30	2,64/2,09/1,54	2,88/2,33/1,78	3,12/2,57/2,02	3,36/2,81/2,26
$F_{p4}$ , кгс	45/35/25	85/65/45	130/105/60	140/120/90	180/160/105
$F_{p3}$ , кгс	60/45/35	90/85/75	140/110/100	150/130/110	190/170/125
$F_{отд}$ , кгс/76 мм	17/15/12	17/15/12	20/17/15	20/17/15	20/17/15

Примечание.  $M$  – масса панелей;  $F_{p4}$  и  $F_{p3}$  – разрушающая нагрузка при испытании на четырехточечный и трехточечный изгиб соответственно (стандарт испытаний – ASTM C393);  $F_{отд}$  – разрушающая нагрузка при испытании на отдира обшивки на барабане (стандарт испытаний – ASTM D1781); дополнительная информация о вариантах I, II и III сборки слоев обшивок панелей – в табл. 1.

### Физико-механические свойства трехслойных панелей

По каждому из вариантов трехслойных сотовых панелей в ЦАТИ были разработаны технические условия. В настоящее время эти панели изготавливаются серийно под торговой маркой «Пантин» и уже нашли применение на самолетах Ту-134, Ту-154, Ту-204/214, Бе-200ЧС и др. Заинтересованные специалисты проявляют к ним интерес на профильных выставках (рис. 2).

В табл. 2 представлены показатели некоторых физико-механических свойств трехслойных панелей интерьера с различной строительной высотой (С) и с различными, указанными выше, вариантами (I, II и III) сборки слоев обшивок панелей.

Как видно из табл. 1 и 2, варьируя исходные компоненты панелей, можно добиться оптимальных результатов как по массовым, так и по прочностным характеристикам. Более того, применяя в конструкции потолочных панелей соты с уменьшенной кажущейся плотностью (29 кг/м<sup>3</sup>) и уменьшая стро-

ительную высоту панелей для потолка и оконных проемов, разного рода зашивок, можно добиться еще более впечатляющих результатов по массовому совершенству.

Сравнительный анализ весовых сводок интерьера самолета Ту-214 в штатном исполнении, представленных КАЗ имени С. П. Горбунова – филиалом ПАО «Туполев», и результатов внедрения ЦАТИ указанного плана мероприятий, показывает, что только на конструктивных элементах интерьера из оптимизированных трехслойных панелей удастся снизить общую массу интерьера на 550–600 кг. Следует учесть при этом, что фактические прочностные характеристики изготовленных панелей выше заявленных в технических условиях на 10–15 %.

Для оценки уровня качества панелей «Пантин» в ЦАТИ были проведены сравнительные испытания панелей, изготовленных по варианту I, подобных панелей фирмы Euro-Composites, а также панелей, изготовленных из препрегов разных производителей на оборудо-

вании ЦАТИ. Результаты данных испытаний, приведенные в табл. 3 и на рис. 3, показывают, что производимые в ЦАТИ панели «Пантин» не уступают аналогам других производителей, а сравнительный анализ характеристик трехслойных панелей, изготовленных из сырья разных компаний, указывает на возможности расширения ассортимента продукции ЦАТИ.

Производственные мощности ЦАТИ, в состав которых входят оборудование по распиловке сотового заполнителя, вакуумные и гидравлические прессы разных типоразмеров и сертифицированное испытательное оборудование, позволяют изготавливать панели как серийно, так и по индивидуальным заказам с заранее заданными прочностными и массовыми характеристиками (рис. 4).

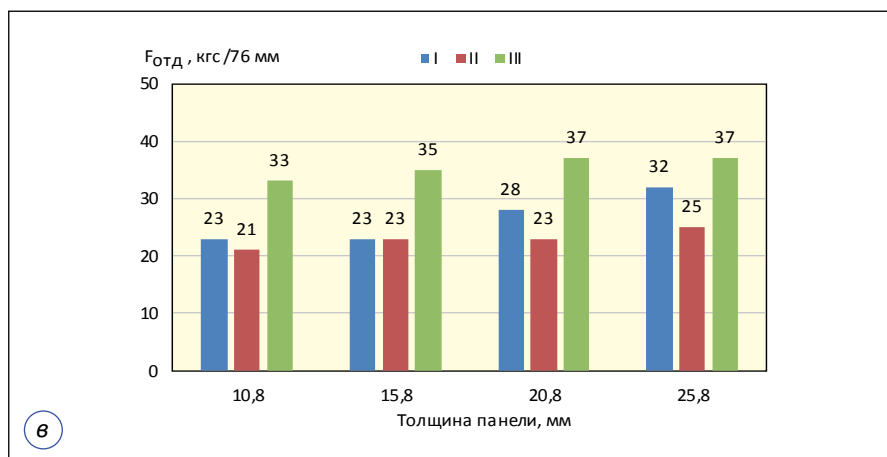
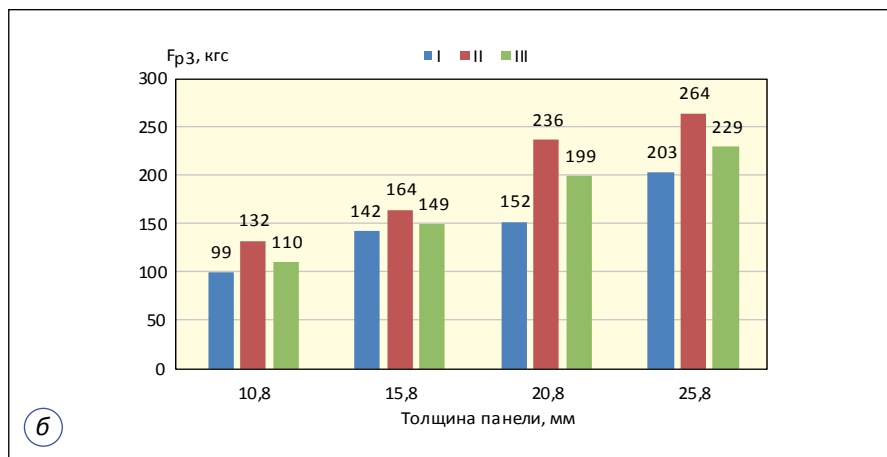
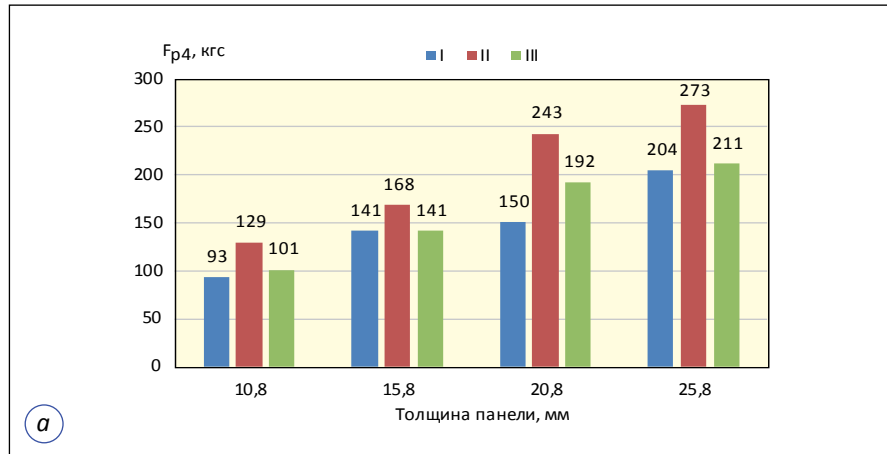
### И еще один способ снижения массы

В деле снижения массы не бывает мелочей. В ЦАТИ была разработана конструкторско-технологическая новинка в области, казалось

**Таблица 3.** Показатели некоторых механических свойств трехслойных панелей интерьера с различной толщиной (С) и с различными вариантами обшивок и заполнителей

Толщина панели и варианты обшивок и заполнителей	$F_{p4}$ , кгс				$F_{p3}$ , кгс				$F_{отд}$ , кгс/76 мм			
	С, мм	10,8	15,8	20,8	25,8	10,8	15,8	20,8	25,8	10,8	15,8	20,8
Панели с обшивками из препрегов Hexcel и сот Aramcore (производство ЦАТИ)	93	141	150	204	99	142	152	203	23	23	28	32
Панели с обшивками из препрегов Guangwei и сот Aramcore (производство ЦАТИ)	129	168	243	273	132	164	236	264	21	23	23	25
Панели производства компании Euro-Composites (Люксембург)	101	141	192	211	110	149	199	229	33	35	37	37

Примечание.  $F_{p4}$  и  $F_{p3}$  – разрушающая нагрузка при испытании на четырехточечный и трехточечный изгиб соответственно (стандарт испытаний – ASTM C393);  $F_{отд}$  – разрушающая нагрузка при испытании на отдира обшивки на барабане (стандарт испытаний – ASTM D1781).



**Рис. 3.** Результаты испытаний трехслойных панелей различной толщины и различных производителей на четырехточечный (а) и трехточечный (б) изгиб (стандарт ASTM C393), а также на отдира обшивки на барабане (ASTM D1781) (в): I – панели с обшивками из препрегов Hexcel и сот Aramisco (производство ЦАТИ); II – панели с обшивками из препрегов Guangwei и сот Aramisco (производство ЦАТИ); III – панели производства компании Euro-Composites (Люксембург);  $F_{p4}$  и  $F_{p3}$  – разрушающая нагрузка при 4- и 3-точечном изгибе соответственно,  $F_{отд}$  – усилие отдира

бы, устоявшейся и общепринятой технологии крепления сотовых панелей к несущим элементам конструкций (рис. 5).

Недостатками этой рутинной операции, осуществляемой в настоящее время с помощью металлических втулок, являются уве-

личение массы панелей за счет металлического крепежа и необходимость его очень точного позиционирования в местах крепления, что не всегда достигается и требует в этом случае трудоемких доводочных работ. Было предложено для этих целей использовать



#### Смесители для резин, силиконов, ЭВА

- Взаимозацепляющиеся, тангенциальные роторы, роторы с суперохлаждением
- Выгрузка поворотной камерой, выгрузка снизу камеры
- Высокая производительность, короткое время смешения



#### Смесительные вальцы для различных видов резин, ЭВА и ПВХ

- Высокая степень автоматизации
- Листование смесей



#### Линии охлаждения

- Высокая производительность

Представительство  
Kneader Machinery Co., Ltd  
ООО «Книдер»

121351, Россия, г. Москва,  
ул. Молодогвардейская, д. 57, оф. 433  
+7-929-617-71-01  
philippkiselev1978@gmail.com



**Рис. 4.** Некоторые виды оборудования, используемые в ЦАТИ для производства трехслойных элементов интерьера самолетов: а – многоэтажный гидравлический пресс; б – вакуумно-мембранный пресс; в – горизонтальный ленточнопильный станок; г – термовакуумный стапель; д – фрезерный станок с ЧПУ

втулки, изготавливаемые непосредственно по месту крепления из отверждаемого при комнатной температуре заливочного компаунда, что позволило не только исключить указанные недостатки, но и улучшить экологичность производства. Дело в том, что в качестве тонкодисперсного наполнителя компаунда используется образующаяся при резке сотовых панелей арамиднофенольная пыль, которую до сих пор, как само собой разумеющееся, считали производственными отходами, непригодными к повторному использованию.

В результате оказалось, что новые полимерные втулки обладают на 20–40 % меньшей массой по сравнению с металлическими втулками при соизмеримой прочности. Кроме того, нарезание в них крепежных отверстий производится непосредственно под место крепления и не требует высокой точности позиционирования, как в случае металлических втулок.

#### Заключение

В заключение необходимо добавить, что в ЦАТИ в настоящее время серийно изготавливаются

также панели пола под торговой маркой «Панпол», которые устанавливаются на самолеты Ту-204/214. Выпускается три типа панелей:

- тип I (устанавливаются в подкресельной зоне пассажирской кабины. Кажущаяся плотность сотового наполнителя – 80 кг/м<sup>3</sup>, толщина обшивок – 0,38 мм);

- тип II (устанавливаются в зоне центрального прохода пассажирской кабины. Кажущаяся плотность сотового наполнителя – 144 кг/м<sup>3</sup>, толщина обшивок – 0,38 мм);

- тип III (устанавливаются в зонах вестибюлей пассажирской кабины, зонах кухонь и туалетов, в багажном отсеке. Кажущаяся плотность сотового наполнителя – 144 кг/м<sup>3</sup>, толщина обшивок – 0,56 мм.

Сотовое производство в ЦАТИ сертифицировано и одобрено соответствующими авиационными органами страны. ■

#### *The Possibility of Weight Reducing of the Interior Elements of Modern Passenger Aircraft*

*S. F. Ilyushenkov, P. I. Sereduta*

*New design and technological solutions in the field of sandwich structures developed by CATI (Moscow) and designed to reduce the weight of the interior elements of passenger aircraft are discussed.*



**Рис. 5.** Варианты крепления сотовой панели к элементу конструкции через полимерную (1) и металлическую (2) втулки