

¹ ЗАТ «Азербайджанські авіалінії» (AZAL). Азербайджан, м. Баку² АТ «Український науково-дослідний інститут авіаційної технології» (УкрНДІАТ). Україна, м. Київ³ Київський національний університет технологій та дизайну. Україна, м. Київ

ШЛЯХИ РОЗВИТКУ ТА ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ В АВІАБУДУВАННІ ТРИШАРОВИХ ПАНЕЛЕЙ ІЗ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В статті йдеться про тришарові панелі авіаційного призначення із полімерних композиційних матеріалів з пінопластовим, стільниковим та трубчастим заповнювачем з наголосом їх застосування, як виокремленого напрямку, в панелях підлоги повітряних суден (ПС). При цьому трубчастий заповнювач являє собою набір густорозташованих бік у бік пустотілих профілів прямокутної форми перерізу для утворення багатостінної панелі.

Приведені порівняльні характеристики вказаних трьох типів панелей. Показано, що по технічним, економічним та експлуатаційним показникам найбільш перспективними в різних напрямках застосування, в т.ч. панелях підлоги ПС, є саме багатостінні панелі. При цьому виявлені сукупні окремі проблеми, пов'язані з цим застосуванням, а також представлені конструктивно-технологічні шляхи їх вирішення, в т.ч. за рахунок порівняно неглибокої модифікації цього типу композитних конструкцій. Цим вбачається підвищення несучої здатності багатостінних панелей по окремим показникам, перш за все, дієвий супротив місцевому продавлюванню обшивки індентором (імітація подіяння каблука-шипильки жіночих туфель).

Ключові слова: композити; панелі підлоги ПС; багатостінна панель; препрег; намотування; автоклавне формування; магнітні пристрої; індентор; каблук.

Вступ

Ефективне використання полімерних композиційних матеріалів (скорочено – композити, або аббревіатура – ПКМ) в літако-, судо- та машинобудуванні передбачає їх розширене застосування у тришарових панелях різного призначення і, насамперед, в силових конструкціях.

Як показують дослідження [1 і літ. до статті та ін.], найбільш перспективними серед них є саме конструкції інтегрального типу, які являють собою монолітні багатокомпонентні конструкції, які сформовані в єдине ціле за один технологічний цикл в єдиній базовій для всієї конструкції формі. В цих конструкціях практично відсутні механічні та клейові з'єднання.

З огляду на ці передумови, матеріали статті, перш за все, належать до авіаційної техніки при створенні панельних тришарових конструкцій літальних апаратів із ПКМ з реалізацією концепції конструктивно-технологічної інтегральності, зокрема для розробки та виробництва тришарових багатостінних панелей з трубчастим заповнювачем (ТЗ), попервах, підлогових сандвіч-панелей паса-

жирських салонів та багажних відділень (відсіків) повітряних суден [1–11, 14, 25–27]. Цей напрямок, наприклад, обумовлений тим, що однією із розповсюджених силових конструкцій ПС є підлога пасажирських салонів та багажних відділень (відсіків). Її площа (відповідно і маса), особливо в широкофюзеляжних літаках, складає значну величину. Так, у 200-місних магістральних літаках площа підлоги перевищує 100 м², у літаках місцевих авіаліній з числом місць від 24 до 80 площа підлоги складає 14–45 м² [2].

Панелі підлоги повітряних суден (ППС), як силові елементи, зазнають дії розподілених і зосереджених, статичних та динамічних (циклових, ударних, вібраційних), а також теплових навантажень, вони також зазнають дії контактних фізичних зношень (пасажиропотік), а також атмосферних факторів.

При цьому ППС повинні бути достатньо жорсткими, щоб не прогинатися, викликаючи у пасажирів відчуття невизначеності.

Крім цього, вони проходять такі специфічні випробування, як продавлювання обшивки індентором, що є імітацією подіяння каблука-шипильки

жіночих тувель на панель підлоги, а також дії на них коліщаток чи роликів візків. Проблема створення панелей підлоги ПС існує вже майже півстоліття, але до сьогоднішнього часу не знайшла, як показує огляд інформаційних джерел, достатньої для широкого впровадження рішень [1–6, 8, 26 та ін.]. При цьому мова йде про подальший пошук конструктивно-технологічних видів трансформації при створенні та виробництві цих об'єктів ПС. Вказана проблема передбачає досягнення мінімальної маси панелей при забезпеченні міцності, жорсткості, пожегобезпеки, технологічності при серійному виробництві, експлуатаційної надійності з підвищеною їх довговічністю та ін. При цьому статичний аналіз сандвіч-панелей проводять з дотриманням умов граничних станів несучої здатності та незмінності форми панелей.

Як відомо, в загальному випадку в сандвіч-панелях зовнішні композитні шарі сприймають зусилля розтягу та стиснення, а середній шар – зусилля зсуву, що забезпечує високу несучу здатність тришарових панелей.

Щодо вживаних конструктивних схем, то починаючи з 1970 року і по сьогодні ППС в переважній більшості в силу згинальних навантажень, являють собою тришарові конструкції з різними заповнювачами (середній шар або сердечник), як головна відмінність цих конструкцій.

Таким чином, ефективно вирішення конструктивно-технологічних та інших питань подальшого розширеного застосування композитних сандвіч-панелей, в т.ч. в напрямку конструкції підлоги ПС, є на сьогодні актуальною проблемою (проблема ППС). Детальніше вказана проблема є багатоскладовою і включає, перш за все, такі три напрямки: конструкційний (К), матеріально-технічний, в т.ч. матеріаломісткість та логістика (М), технологічний (Т). В скороченні це КМТ-напрямки проблеми, а також, у відповідності – КМТ-рішення цієї проблеми.

1. Опис поставленої задачі

В матеріалах статті йдеться про досягнутий рівень адаптації конструктивно-технологічних рішень до сучасних вимог при створенні та виробництві ефективних конструкцій саме тришарових пластмасових ППС, які класифікують в залежності від зони їх застосування. Наприклад, пасажирські ПС зазвичай включають чотири типа панелей підлоги: 1) підкрісельні, 2) панелі проходів, 3) панелі входів-виходів і кухні, 4) високонавантажені панелі багажних відділень (відсіків).

Фізико-механічні характеристики панелей сильно залежать від різних навантажень в процесі їх використання. Наприклад, підкрісельні панелі та панелі проходів мають тенденцію бути більш лег-

кими і не такими міцними, як панелі кухні (буфетів) або високонавантажені панелі багажного відділення (відсіку).

Виділеними критеріями оцінки (або просто критерії) альтернатив згідно [1–15] є:

А. Несучі властивості конструкції, в першу чергу, рівень відповідності вимогам щодо міцності при розподілених і зосереджених навантаженнях та жорсткість панелей, насамперед, їх поздовжня прогиномірність в залежності від зонного застосування.

В. Маса 1 м² панелі в залежності від зонного застосування.

С. Технологія виробництва: уніфікація, висока продуктивність (рівень механізації та автоматизації робіт, тривалість циклу виробництва), енерговитрати та ін.

Д. Експлуатаційні фактори та придатність до ремонту.

Е. Фактор ефективності самих конструкційних матеріалів (фізико-механічні характеристики, пожежна безпека, технологічність, вартість, логістика та ін.).

Зважаючи на зазначені вище критерії, в даній роботі поставлена задача істотного удосконалення панелей з ТЗ для розширеного вжитку цього типу конструкцій в ПС, і в першу чергу, їх цільове адаптування для застосування в панелях підлоги пасажирських салонів та багажних відділень шляхом модифікації за рахунок поліпшення низки існуючих КМТ-рішень і відповідно цьому – виробничих процесів та оснащення, а також їх експлуатаційної якості. Таким чином, мова йде про вирішення трійстої задачі, а саме забезпечення оптимальних на теперішній час КМТ-рішень з ефективним зв'язком між виділеними трьома складовими в умовах серійного виробництва сандвіч-панелей.

2. Існуючі конструктивно-технологічні рішення композитних сандвіч-панелей альтернативних конструкцій

В табл. 1 приведені в загальному відомі та альтернативний до них варіант заповнювача ППС. Останній відповідно до поставленої задачі являє собою часткову (виокремлену) модифікацію цих панелей в напрямку застосування конструктивно-употужнених трубчастих заповнювачів (ТЗ) з удосконаленою технологією їх виробництва і панелі в цілому (тут і подалі в скороченому позначенні «МФ-варіант»).

При цьому в нижній частині табл. 1 представлена градація конструктивної близькості–віддаленості відомих альтернативних варіантів до запропонованого МФ-варіанту.

На рис. 1 та 2 вкупі представлена в загальному вигляді тришарова панель з ТЗ, яка являє собою прототип для удосконаленого МФ-варіанта панелі,

Альтернативні варіанти заповнювачів підлогових тришарових панелей

Суцільно-безперервний заповнювач	Дискретні заповнювачі		
	Суцільно-розріджений	Поздовжньо-реберний	
Пінопластовий заповнювач (ПЗ)	Стільникопластовий заповнювач (СЗ)	Запропонований трубчастий заповнювач (ТЗ)	
ПЗ різної щільності	СЗ різної щільності	ТЗ запозичено-традиційного типу	Употужнений ТЗ
↑	↑	↑	↑
Дальній аналог	Ближній аналог	Прототип [8]	МФ-варіант

з використанням тут і по всій статті наскрізної нумерації позицій.

При цьому тришарова багатостінна панель 1 із ПКМ, переважно із склопластиків, містить в собі зовнішню 2 і внутрішню обшивку 3 та розташованого між ними трубчастого заповнювача 4, який складається з блокового набору внутрішніх 5 та торцевих (крайніх) 6 трубчастих профілів (ТП) або профільних трубок. На рис. 1 літера «А» позначає положення багатоотвірних поперечних, а «В» – бічних поздовжніх торців панелі.

Для внутрішніх ТП їх верхні полиці позначені через 5а, а дві бокові стінки через 5б. Аналогічно у торцевих ТП верхня полиця це 6а, права бокова стінка – 6б, а ліва – 8, одночасно являючи собою і торцеву бічну стінку всієї панелі (рис. 2, 3 і 4).

Верхня та нижні обшивки панелі, будучи адгезійно з'єднаними з верхньою та нижньою полицями ТП, утворюють разом з ними відповідно її верхнє та нижнє покриття з приведеними товщинами «а» і «b».

Дві суміжні бокові стінки профілів 5b і 5b або 5b і 6b при їх поелементному з'єднанні утворюють з кроком «h» набір двоскладових вертикальних стінок або поздовжніх внутрішніх ребер 7 панелі 1, тоді як її торцеві бічні стінки 8 є односкладовими.

Торці панелі 1, як і аналогічні панелі зі стільниковим заповнювачем, можуть перед її формуванням заповнюватися негорючою синтактною пастою на основі скляних мікросфер (рис. 2), утворюючи таким чином тверду окантовку 9 панелі 1 із сферопласта [4, 22].

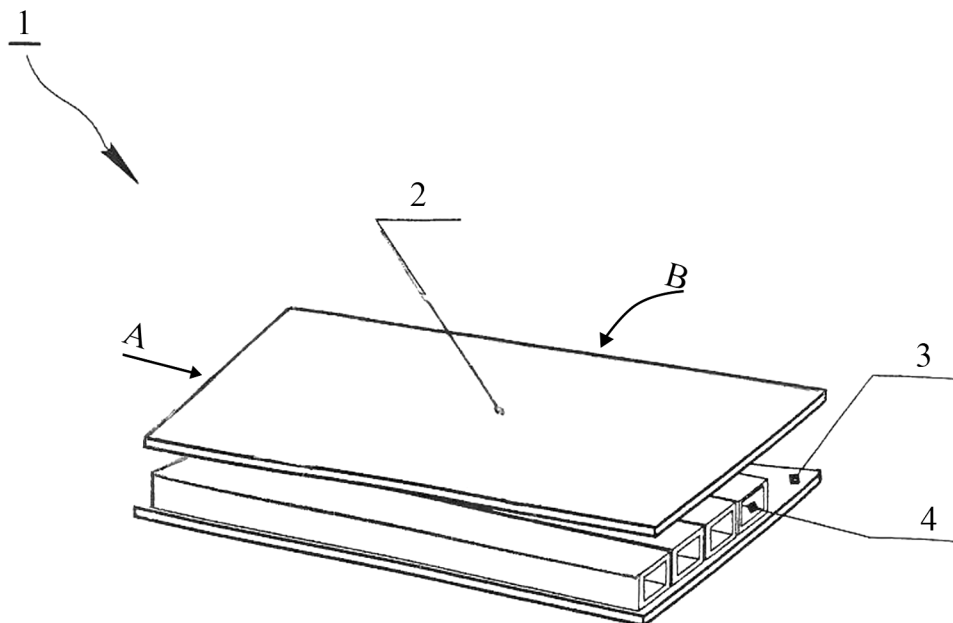


Рис. 1. Загальний вигляд в аксонометрії інтегральної багатостінної панелі і її основних компонентів

2.1. Сендвіч-панелі з пінопластовим та стільниковим заповнювачами

Переходячи до висвітлення вказаних в табл. 1 альтернативних варіантів панелей, слід зазначити, що в загальному випадку ППС, які застосовувались в 70–80 рр. в таких літаках, як Іл-18, Іл-62, Ан-124, Ту-144, Ту-154, Як-40 та ін., були виконані тришаровими з фанерною або склопластиковою обшивкою з пінопластовим заповнювачем. При серійному виробництві таких панелей широко застосовувався так званий роздільний спосіб виготовлення окремо композитних обшивок та пінопластового заповнювача. Вони з'єднувалися своїми поверхнями в цілісну конструкцію за допомогою склеювання. Крім значної трудомісткості, цей варіант має також недолік в тому, що на поверхні панелі мають місце залишкові ум'ятини при ударних по ній діях. Середня маса 1 м² застосовуваних панелей із вказаних матеріалів коливається в межах 4,2–5,6 кг в залежності від розташування в салоні [2].

Хоча за останні десятиліття використання пінопластів, як легкого заповнювача панельних конструкцій, відчутно зменшилось, але їх застосування у визначених рамках, або навіть і у деяких напрямках є присутнім і на сьогодні. Так, наприклад, згідно [26], в багажному відсіку літака Ан-148 пінопласти застосовані (маса не зазначена) в двошаровій панелі вафельного типу, яка складається з потовщеної склопластикової обшивки, підкріпленої поздовжньо-поперечним набором із 18 рифтів на основі пінопластової серцевини з зовнішнім склопластиковим облицюванням.

Переходячи до другого альтернативного варіанту застосування тришарових конструкцій, а саме зі стільниковим заповнювачем, то слід зазначити, що вони є другим серед інших по об'єму застосування типом конструктивно-технологічних рішень, наприклад, в композитних конструкціях літаків Ан [8 та ін.].

Також на сьогодні серед інших варіантів ППС, в тому числі в зарубіжних ПС, найбільше розпов-

сюдження отримали саме тришарові панелі підлоги з полімерними СЗ [1–6 та ін.]. Однією з перших в цьому напрямку була фірма «Роллс-Ройс» (Англія), яка виготовила та установила на літаку «Боїнг 747» тришарові панелі підлоги розміром 1,22×3,05 м з вуглепластиковими обшивками і нейлоновим стільниковим заповнювачем. Маса 1 м² таких панелей (напевно, підкрісельних) складала 2,7 кг проти 4 кг для панелей з алюмінієвими обшивками і базальтовим заповнювачем, при цьому їх довговічність збільшилась з 3000 до 20 000 л.г. При середньорічному нальоті літака «Боїнг 747» 4200 годин, термін експлуатації стільникових ППС був приблизно 5 років.

В подальшому КМТ рішення стільникових панелей підлоги удосконалювались, зокрема, це використання склотекстолітових обшивок і перехід від способу роздільного виготовлення панелей [1–3, 5, 7], який характеризується окремим виготовленням обшивок з наступним їх приклеюванням до стільникового заповнювача (СЗ), до так званого суміщеного (поєднувального) способу, де термосилове формування обшивок відбувається одночасно з їх приклеюванням до СЗ [4–6].

Різні розробники ПС пред'являють неоднакові вимоги до стільникових панелей підлоги, наприклад, в ЗАТ «Цивільні літаки Сухого» виділяють серед інших вимог необхідність високих значень зусилля відшарування обшивки на барабані, на відміну від ДП «Антонов», яке не включає цей показник в перелік потрібних, оскільки торці панелей підлоги в їх конструкціях закладаються полімерними пастами різних марок, наприклад [6, 22], як це показано на рис. 2. Більш значними для цього підприємства є показники рівномірного відриву обшивки від стільникового заповнювача та прогин при вигині довгої балки [6].

В даний час при виготовленні стільникових ППС широко застосовують препреги та СЗ західного виробництва, бо вони найбільш відповідають нормам авіаційних правил АП-25, в т.ч. по горю-

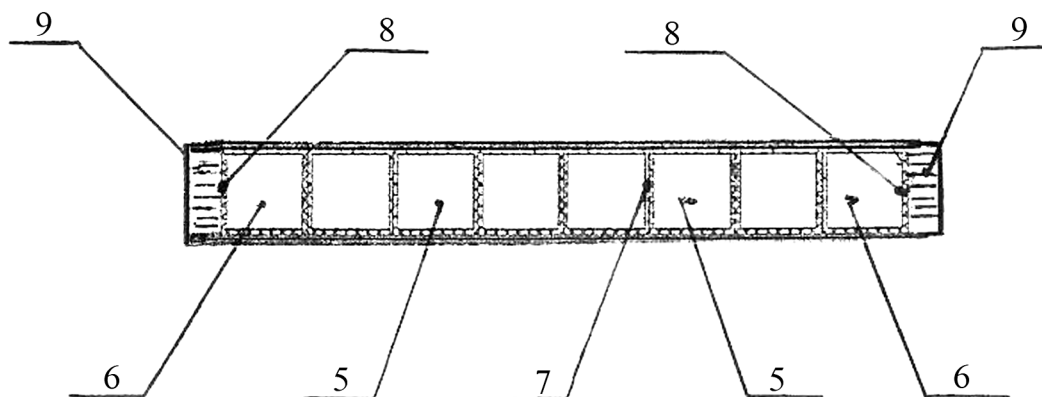


Рис. 2. Видяк в поперечному розрізі багатостінної інтегральної панелі в традиційному виконанні

Характеристики стільникових ППС за типом призначення

Тип панелі	Призначення	Число шарів препрега в обшивках (верхньої/нижньої)	Висота, мм	Маса 1 м ² панелі, кг
I	Підкрісельні	2/2	9,8–10,2	2,5–2,8
II	Для проходів (через салон)	2/2	9,8–10,2	3,0–3,5
III	Для буфетів та входів–виходів	3/3	10,2–10,6	3,9–5,0
IV	Для багажних відсіків	4/2	10,2–10,6	3,9–5,0

чості, а також вимогам по димовиділенню і т.д., ніж матеріали інших виробництв.

В стандартному виконанні розрізняють чотири типи стільникових ППС, які мають різні числа шарів обшивок, висоту та масу СЗ і панелі в цілому. Наприклад, панелі в табл. 2, які виготовлялись суміжним (поєднувальним) способом [6].

Зразки панелей виготовлялись із типових зарубіжних матеріалів для виробництва панелей підлоги, в тому числі стільникопласти фірми Hexel A1-64-3 зі щільністю 64 кг/м³ для виготовлення панелей типу 1 та A1-128-33 зі щільністю 128 кг/м³ для виготовлення панелей II, III та IV типів. В якості обшивок використовувались препреги Суsom 919.

В патенті [4] багат шарова структура композитних обшивок панелей для вказаних чотирьох груп зонного призначення така ж, як і в табл. 2. Тут використовують: склотканини марки T-10-14 [12], розроблене в патенті зв'язує, яке пристосоване саме до суміщеного способу виготовлення та стільникові заповнювачі (їх марки та виробники не зазначені).

Так, наприклад, в панелі IV групи верхня обшивка чотиришарова, а нижня складається з двох шарів вказаної склотканини і відповідно цьому товщини композитних обшивок є на рівні 1,0 мм і 0,5 мм (співвідношення товщин 2:1).

Вказана вище пропорція товщин витікає, поперше, із співзалежності міцності склопластиків при двох видах навантаження, а саме стиску (верхня обшивка) і розтягу (нижня обшивка) на рівні приблизно 0,7, а, по-друге, необхідності забезпечення міцності верхньої обшивки при її місцевому стисканні «під каблук».

Для панелей III групи значення товщин двох обшивок панелі збігається, тобто мають однакові товщини (на рівні 0,7 мм) у двох тришарових обшивках.

В той же час при застосуванні суміщеного способу виготовлення виникає проблема в тому, що в обшивках стільникових панелей використовують самоклеювальні препреги на основі епоксидних

зв'язуючих, бо саме вони при достатній міцності гарантують надійне склеювання обшивок зі стільниками. Однак забезпечення пожежної безпеки епоксидних пластиків – достатньо важка задача. Крім цього, в суміщеному способі має місце складне збірне виготовлення з точною підгонкою (припасуванням) склеюваних компонентів. Саме ці та інші фактори, наприклад, димове виділення, обмежують застосування вказаного перспективного способу виготовлення стільникових панелей підлоги [6].

Зазвичай виготовляють стільникові ППС автоклавним формуванням чи формуванням в гідравлічних пресах. Перший метод є довгочасним, низькопродуктивним та дорогим. За кордоном на фірмах Hexcel Composites, Euro-Composites, M. C. Gill Corporation та ін., панелі підлоги виробляють виключно методом формування в багатоповерхових гідравлічних пресах [6]. Такий метод забезпечує хорошу відтворюваність властивостей, якість поверхні, відсутність короблення та економічність. Однак цей метод найбільш ефективний при роздільному способі виготовлення стільникових панелей підлоги. В той же час, в суміщеному (поєднувальному) способі виникає проблема вибору та дотримання оптимального тиску з одного боку для якісного пропресування обшивок та їх склеювання зі стільниками, а з другого боку – відсутність при цьому зім'яття торців стільників в процесі термосилового формування панелі.

Площинні заготовки ППС, що постачаються, як правило мають розміри не менш ніж 1250×2450 мм. Менший з цих розмірів в плані співпадає з напрямком клейових стрічок (склейок) в стільниковому заповнювачі.

В конструкціях більшості фірм, в т.ч. ДП «Антонов», торці стільникових та багатостінних ППС (рис. 2) заповнюють полімерними пастами, наприклад, полімерними заповнювачами – сферо-пластами типу ВПЗ [1–6, 8, 22 та ін.].

В узагальненні, основними недоліками стільникових ППС є складність та висока трудомісткість їх виготовлення, необхідність вирішення проблеми

логістики в постачанні матеріалів та їх висока вартість, трудомісткий ремонт та ін. При цьому, стільниковим конструкціям в процесі експлуатації приймаються такі основні дефекти:

- відшарування стільникових заповнювачів від обшивок внаслідок непростежів та зім'яття стільників (цей вид дефектів виникає, як в силу технологічних причин, так і в ході експлуатації);

- підвищена схильність до вологопоглинання (в основному через недостатню герметичність композитних обшивок та ін.).

При цьому, вода повністю чи частково заповнює гнізда стільникового заповнювача [27 та ін.] і її виведення з цих порожнин є трудомістким процесом.

Згідно пропозиції (перш за все, ДП «Антонов» і Харківського державного авіаційного виробничого підприємства (ХДАВП) та інших авіаційних фірм [7–11, 15 та ін.], кардинальним рішенням вказаних вище проблем є заміна стільникових авіаконструкцій різного призначення на композитні тришарові багатостінні панелі з трубчастим заповнювачем (скорочено – багатостінні ППС).

2.2. Порівняльні характеристики стільникових та багатостінних сандвіч-панелей

Одними з перших замість стільникових конструкцій були багатостінні панелі хвостової частини крила літака Ан-124 [8]. Багаторічний досвід засвідчив хороші експлуатаційні якості таких конструкцій, а також показав, що ремонт панелей з ТЗ достатньо простий у порівнянні з ремонтом стільникових панелей. Детальні дані про застосування багатостінних панелей в літаках ДП «Антонов» наведені в [8, 9 та ін.].

В [7] при експериментально-розрахунковому моделюванні великогабаритного вуглепластикового обтічника ракети-носія були проведені паралельно комплексні дослідження двох типів тришарових структур, а саме з СЗ і ТЗ. Результати показали, що обидві структури мають високу несучу здатність з деякою перевагою у багатостінних панелей.

Однак, саме в технології виготовлення значна перевага була саме у зразків панелей з ТЗ, оскільки тут можуть бути застосовані високоефективні безавтоклавні методи формування, як інжекція і інфузія, що майже неможливо для панелей з пінопластовими і стільниковими заповнювачами.

Але на сьогодні зазвичай тришарові панелі з ТЗ одержують в літакобудуванні за препреговою технологією, починаючи з виготовлення ТП шляхом намотування стрічкового препрега, наприклад, із склострічки ЛСК-ВМ-0,1×35-76 [19] на резинові чи роздуттвові поліхлорвінілові оправки [7–13 та ін.]. Обшивки, найпоширеніше, виготовляють із тканого препрега, наприклад, із склотканини Т-10-80. Обидва види препрегів виробляють на зв'язуючих ЕДТ-69Н чи 5-211Б.

При термосиловому формуванні панелі з ТЗ з застосуванням плівкового клею, наприклад, ВК-41 чи без нього, наразі використовують такі основні методи [7–13]:

- вакуум – автоклавне формування;
- вакуумне формування в термопечах;
- вакуумне формування на обігрівній оснастці (тобто формування з одностороннім нагріванням).

Панелі, які були виготовлені вакуумним формуванням в термопечах чи на обігрівній оснастці мають хорошу якість і зовнішній вигляд і приблизно однакову прийнятну міцність на відрив обшивки від ТЗ.

Зазначене говорить про те, що панелі з ТЗ мають більший спектр варіантів технологічних процесів їх виготовлення, ніж з стільниковими чи пінопластовими заповнювачами [6–13].

В [11] представлені результати порівняльних випробувань зразків тришарових панелей з ТЗ та СЗ під дією рівномірно розподільного тиску та зсуву в площині панелі. Зразки виготовлялись за препреговою технологією з застосуванням епоксифенольних зв'язуючих, а термосилове формування відбувалось вакуум-автоклавним способом. Обшивки панелей складаються із 4-х шарів вуглестрічки товщиною 0,12 мм викладених під кутами $\pm 45^\circ$.

Трубчасті композитні профілі з прямокутним поперечним перерізом розмірами 15×15 мм (детальніше про їх якість говориться нижче) при цьому з незбалансованою структурою, виготовлялись у першому випадку методом спірального намотування одного шару склострічки товщиною 0,22...0,23 мм під кутом 45° , а в другому – з використанням вуглестрічок товщиною 0,12 мм з викладенням першого шару вздовж осі ТП (0°) та намотуванням на нього другого спірального шару (45°). Таким чином, товщина стінок ТП в обох випадках була практично однаковою.

Розрахункова маса 1 м² двох порівнювальних панелей була приблизно однаковою на рівні 3,1...3,2 кг, однак при цьому прогини зразків панелей з ТЗ під дією рівномірно розподільного тиску були в 1,2...1,3 рази меншими. Також міцність при зсуві зразків панелі з двошаровими ТП була приблизно в 1,75 рази вищою, ніж в стільникових панелях. Але вона зменшувалась приблизно в 1,5 рази при використанні одношарових ТП.

Найбільш близьким до МФ-варіанту за технічним призначенням та результатами, що досягаються, є запропонована в [8] інтегрального типу тришарова композитна багатостінна ППС. Тут саме рекомендовано розширити номенклатуру авіаційних тришарових конструкцій з ТЗ в напрямку їх застосування в підлогових панелях, наприклад, в літаку Ан-140-100. Для цього тут були виготовлені в двох альтернативних варіантах зразки ППС (середні

Порівняльні характеристики альтернативних ППС [8]

№ п/п	Вид заповнювача та його елементів		Вартість* 1 м ² , грн.	Розрахункова маса, кг
1	ТЗ	ТП – 6×10 мм із стрічки Т-60/2	432,4	4,915
2	ТЗ	ТП – 10×10 мм із стрічки Т-60/2	336,9	4,49
3	СЗ	СЗ марки ПСП-1-2,5×96	1054	4,71

* станом на 2011 рік

шари СЗ і ТЗ) з однаковою для них структурою п'ятишарових товщиною 0,9 мм обшивок на основі комбінованої тканини Т-42/1-76 і зв'язуючого 5-211БН. У першому випадку використовувались стільники марки ПСП-1-2,5×96, а в другому – комплектний набір ТП у двох різновидах розмірів поперечного перерізу, а саме 6×10 і 10×10 мм. ТП виготовлялись методом спірального одношарового намотування під кутом 45° препрегової склострічки товщиною 0,23 мм, викроєної з високомодульної тканини Т-60/2(ВМП)-14с. Така структура характеризується незбалансованістю і, як один з наслідків, зниженим «вкладом» в загальну жорсткість тришарової сандвіч-панелі. Особливо це стосується підлогових панелей зі збільшеними міжстіновими в ТЗ кроками.

В прототипі намотування ТП проводилось на еластичних (резинових) технологічних оправках, яким притаманні суттєві недоліки, а саме:

- неможливість забезпечення високої якості прямокутної форми поперечного перерізу, в тому числі нечітка прямокутність полиці та рівність стінок по всій довжині ТП;
- збільшені радіуси округлень на стику «стінка – полиця», а це, наприклад, приводить до утворення пустот в галтельних жолобках на стику «стінка ТЗ – обшивка».

Вкупі перший та другий недоліки не тільки негативно впливають на несучу здатність панелі, але ще й не дозволяють, по-перше, розміщенню коротких вкладишів, як місцевих підкріплень, в порожнинах ТП, по місту з'єднання панелі з силовим каркасом, а, по-друге, також розміщенню в передніх та задніх торцях панелі (з відкритими каналами ТП), внутрішніх прямокутної форми типових пластмасових заглушок (пробок) замість сферопластів [22];

• суттєво обмежена разовість використання оправок з причини нестабільності їх фізико-механічних характеристик, в тому числі, внаслідок поступового їх охрупчування [10, 12–15];

• невелика робоча довжина, що не перевищує кількох метрів, особливо при маломірному попе-

речному перерізу ТП, що пов'язане з труднощами немеханізованого ручного витягування (вилучення) цих оправок після термосилового формування панелі;

• велика вартість еластичних оправок, що вкупі з зазначеними недоліками найбільш чутливе в серійному виробництві.

Міжстінові кроки в ТЗ розмірами 6 мм і 10 мм були підібрані таким чином, щоб «шпилька» одночасно натискувала на дві стінки [8]. Зразки панелей із ТЗ були виготовлені методом одночасного термосилового формування обшивок з набраним комплектом ТП, а зразки стільникових панелей виготовлялись за роздільною технологією методом переднього пресування обшивок з використанням технологічного «жертвовного» шару і їх подальшого склеювання з СЗ. Розрахункова маса і вартість 1 м² панелі підлоги різних типів наведені в табл. 3.

Із табл. 3 видно, що альтернативні ППС мають доволі близькі значення розрахункової маси, однак при цьому, вартість матеріалів і затрати на виготовлення панелі з ТЗ (п.п. 1, 2) значно менші.

Результати випробувань зразків панелей підлоги різних типів на зсув по схемі «короткої балки» з визначенням руйнівного навантаження (РН) та прогину приведені в табл. 4.

В табл. 4 показано, що величина РН при зсуві зразків панелей з ТЗ при розмірах ТП 10×10 мм і 6×10 мм були в 1,25–1,5 рази вищими, ніж у панелях з СЗ. З цього можна зробити висновок, що при рівних, або навіть близьких умовах, панелі з ТЗ з проміжними значеннями розмірів перерізу ТП у вказаному вище (табл. 4) діапазоні, будуть також міцнішими на зсув, ніж наведені для порівняння панелі з СЗ.

Також піддавались випробуванню зразки кожного типу панелей на продавлювання «шпилькою». В якості імітатора брався індентор циліндричної форми діаметром 12 мм з округленими кромками ($r = 0,3$ мм). Аналіз результатів показав, що міцність стільникової панелі на місцеве зруйнування при розташуванні індентора, як в центрі, так і в районі її країв була вищою в усіх випадках, ніж

Результати випробувань зразків* альтернативних підлогових панелей на зсув

Панель з ТЗ				Панель з СЗ	
ТП-6×10 мм		ТП-10×10 мм		ТП-6×10 мм	
РН, кг	Прогин, мм	РН, кг	Прогин, мм	РН, кг	Прогин, мм
727	2,88	727	2,88	727	2,88

* розміри зразків: міжпопorna довжина 102 мм, ширина 80 мм

у панелей з ТЗ. При цьому міцність по зім'яттю заповнювача була вищою на 55% для порівнювальних панелей з ТП розміром 10×10 мм і на 18% для ТП з перерізом 6×10 мм, а міцність по РН для вказаних двох різновидів поперечних перерізів ТП була вищою на 13–18%.

Цілком імовірно, що посередня (або навіть невисока) в прототипі міцність панелі з ТЗ за вказаними двома показниками при продавлюванні її «шпилькою», не виключає виникнення при негативному збігу обставин навіть уразливої ситуації.

У наведених вище порівняльних прикладах було показано, що тришарові багатостінні (одночасно це і багатопорожнинні) панелі з ТЗ потребують модифікації у розширеному для них призначенні з урахуванням конструктивно-технологічних, експлуатаційних та інших вимог, що пред'являються для панелей підлог ПС (МФ-варіант).

При цьому багатостінні панелі, як показано в п. 3, при порівнянні зі стільниковими, характеризуються більшими можливостями їх модифікації в напрямку ефективного практичного вирішення поставленої вище задачі [8, 15].

3. Концепція модифікації багатостінної панелі та її практична реалізація

3.1. Конструктивно-технологічні особливості рішень поставленої задачі

Конструктивно-технологічна концепція модифікації багатостінних панелей, як багатопланова система, що сприяє вирішенню поставленої задачі (п. 1), характеризується накопиченим суміщеним набором різнорідних складових елементів вирішуваної проблеми, а саме:

- поставлена задача вирішується тим, що тришарова багатостінна інтегрального типу, насамперед, панель підлоги ПС у МФ-варіанті має посилене верхнє покриття з употужненим трубчастим заповнювачем на основі комплектного набору багатшарових (насамперед тришарових) з прямокутним поперечним перерізом ТП, всі верхні полиці яких, як складові верхнього покриття, мають поси-

лену силову структуру комбінованого типу за рахунок доповнення шарів ПКМ, як виділеної базової частини цієї структури, поєднаним з нею зміцнювальним поздовжнім прошарком (поз. 11 на рис. 3 та 5). Останній являє собою стрічкову арматурну вставку з вищими показниками при зім'яття (місцева стиснення) зрізу, розтягу, стиску та значно вищу твердість, за такі ж показники застосовуваного ПКМ [15].

Насамперед, це прошарок із сталеві стрічки (табл. 5). При цьому одним із головних факторів ефективного впливу арматурної вставки в спільній роботі панелі, є якомога більша виділена в рамках корисної моделі можливість жорсткості її поздовжнього спірання.

Ця довжина складається з двох часткових ділянок: а саме невелика довжина спірання на торцевих жорстких опорах, а основна частина – на визначену кількість в наборі ТП проміжних стінових опор (ребер) трубчастого заповнювача. Цим забезпечується включення в роботу арматурної вставки по збільшеній її довжині.

- поставлена задача вирішується тим, що основним матеріалом в обшивках та ТЗ є конструктивні склопластики, або на їх основі гібридні ПКМ, насамперед, склоорганопластики (табл. 5). Наприклад, в обшивках повністю або частково використовують, насамперед, склотканини сатинового переплетіння 8/3 марок Т-10-14, Т-10(ВМП)-4с, Т-15(п)-76.

- поставлена задача вирішується тим, що жорсткість панелі забезпечується не тільки жорсткістю її верхнього та нижнього покриттів, як в прототипі, а також додатково і жорсткістю всього комплектного набору стінок (внутрішніх ребер) панелі, оскільки вони багатшарові і мають більшу товщину, ніж в прототипі. Наприклад, в варіанті поперечного розрізу ТП на рівні 8×8 мм, товщина спареної стінки панелі при намотуванні трьох шарів склострічки ЛСК-ВМ-0,1×35-76 становить 0,6–0,65 мм в порівнянні з товщиною 0,42–0,45 мм у прототипі (для ТП з розмірами 6×10 мм і 10×10 мм).

Таким чином, вказане потовщення стінок проміжних опор для верхнього покриття збільшує міц-

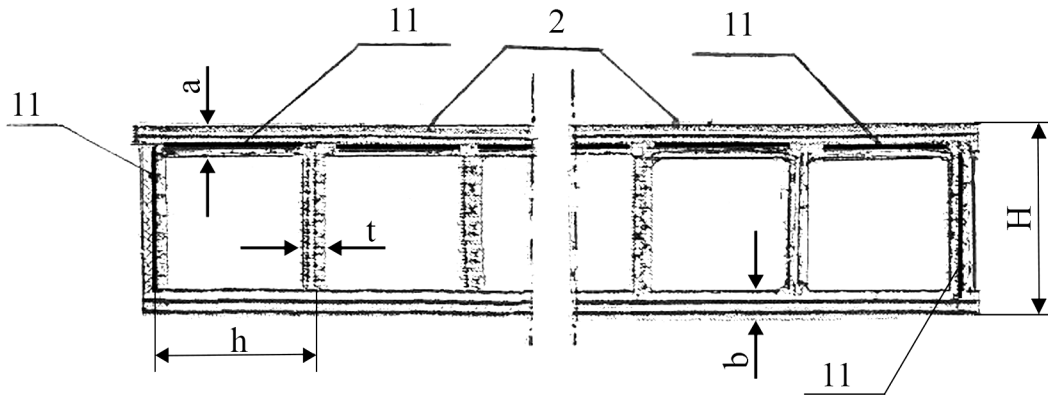


Рис. 3. Вигляд в поперечному розрізі багатостінної інтегральної панелі в МФ-варіанті

ність панелі не тільки на місцеве стиснення і продавлювання, але також і на зменшення її поздовжнього прогину.

- поставлена задача вирішується тим, що ТП мають точну форму прямокутного перерізу по всій їх довжині з малим значенням радіусів округлень на стику пари «стінка – полиця», наприклад, $r = 0,5 \dots 0,6$ мм, при цьому прямокутні внутрішні канали калібровані по формі і геометричним параметрам.

- поставлена задача вирішується тим, що в структуру бокових торцевих стінок двох крайніх по обидві сторони панелі ТП входить, як зміцнювальний поздовжній прошарок, стрічкова арматурна вставка, а у відкритих каналах передніх та задніх торцях панелі установлені з щільним сполученням малої ваги, насамперед, з пластмас, знімні водостійкі заглушки (пробки) для закриття отворів профільних труб.

- поставлена задача вирішується тим, що зміцнювальна арматурна вставка має коефіцієнт ліній-

ного термічного розширення більший, ніж, наприклад, у склопластиків, що дозволяє при термосиловому формуванні панелі застосовувати метод термомеханічного натягнення арматури для її вирівнювання, усуваючи можливі по її довжині прогини. Це дозволяє підвищити несучу здатність арматури за рахунок більш дієвого включення її в роботу панелі.

- наостанок, поставлена задача вирішується також внаслідок застосування магнітних полів в технологічних цілях [12–15].

3.2. Практична реалізація запропонованого МФ-варіанту панелі

Як було вище зазначено, у МФ-варіанті панелі до складу шарів верхніх полиць трубчастих профілів 5а і 6а, і до складу шарів торцевих стінок 8 невід’ємно входить, як прошарок, зміцнювальна стрічкова, насамперед, сталева арматурна вставка 11. Вона також входить, але вибірково, до складу бокових стінок деяких внутрішніх ТП. Ця вставка сприймає магнітне притягання через оправку 12 під

Таблиця 5

Порівняльні характеристики сталеві стрічки і склотекстоліту

Матеріал	Тимчасовий опір розриву, кгс/мм ²	Твердість за Віккерсом, Н	Твердість за Брінеллем, Н	Коефіцієнт лінійного розширення
Сталева стрічка марки 50: 1П – перша група міцності [16]	130–160	375–485	–	11,5 · 10 ⁻⁶ 1/°C
Сталева стрічка марки 50: 2П – другої групи міцності [16]	161–190	186–600	–	
Склотекстоліт ВФТ-С	по основі – 40 по утоку – 16	–	~50	(7,9–8,7) · 10 ⁻⁶ 1/°C
Склотекстоліти СТП-97К [25], СТП-97К-5-211БН [25]	по основі – 49 по утоку – 39	–		5,4 · 10 ⁻⁶ 1/°C

дією магнітів 17 (рис. 5). Сила цього притягання має бути достатньою для фіксації її положення на оправці 12, яка обернута по периметру сиріюю композитною оболонкою, а також притиснення цієї вставкою шарів ПКМ, на які вона опирається і з'єднується з ними в процесі термосилового формування в основній формі набору ТП і панелі в цілому. Таким чином, кожна оправка 12 являє собою автономний в процесі виготовлення ТП і панелі формуючий компонент основної форми [7–15].

Для підвищення міцності адгезійного з'єднання, на сталеву стрічку 11 згідно рекомендаціям [23], наносять підшарок клею, наприклад, марки ВК-32-200.

В табл. 6 наведений приклад тришарової багатоштинної панелі підлоги ПС запропонованого МФ-варіанту. Її побудовна висота складає $H = 10,2$ мм, що узгоджується з типовими на сьогодні розмірами висот (див. табл. 2) широкозастосовуваних тришарових стільникових панелей підлоги на рівні 9,8–10,5 мм [1–4, 6]. Міжштинний крок ϵ на рівні $h = 8,8$ мм, а товщина стінок (ребер) 7 на рівні $t = 0,6–0,65$ мм, що підвищує жорсткість спирання верхньої полиці панелі.

З урахуванням цього положення, внутрішні калібровані канали цієї панелі в поперечному розрізі є квадратними 8,2×8,2 мм. Для порівняння в [2, 4, 6] висота стільникового заповнювача складає 8,3...8,7 мм.

Як раніш було зазначено, міцність панелі при місцевому стисканні (зім'ятті), а саме при дії зосередженого навантаження «на каблук», визначають на дослідних зразках шляхом продавлювання об-

шивки циліндричним стержнем діаметром 11,3 мм з фаскою 0,5 мм [2], або діаметром 12 мм з фаскою 0,3 мм [8] з навантаженням при цьому на дві стінки (ребра).

Сталева арматурна стрічка 11 шириною 7 мм і товщиною в інтервалі $c = 0,05–0,08$ мм, будучи виконаною із середньовуглецевої якісної конструкційної сталі марки 50, має показник тимчасового опору при розриві на рівні 190 кг/мм² і більше, а також твердості 500–600 Н за Віккерсом [16].

Звичайно, при певних умовах зміцнювальна арматурна вставка 11 може мати декілька різновидів. Наприклад, при невеликій довжині панелі 1 і відповідно в ній арматурних вставок 11, і при цьому липкість препрега при намотуванні ТП достатня для позиційної фіксації цих вставок, то може застосовуватись також і титанова стрічка, наприклад, товщиною 0,1...0,12 мм [17].

Панель 1 виконують із одного типу найбільш широкозастосовуваних та економічно вигідних ПКМ, а саме склотекстолітів з використанням в обшивках 2 і 3, насамперед, склотканин сатинового переплетіння 8/3. В прикладі (табл. 6) склотекстоліти утворені на основі склотканин Т-10-14, Т-10(ВМП)-4с, А-1 та склострічок ЛСК-ВМ-0,1×35-76 або ЛЕСб [19, 20], а також зв'язуючого, наприклад, марки 5-211БН [8–11] або СП-97К-5-211БН [25]. При виборі, наприклад, склострічки марки ЛЕСб бралось до уваги, що вона при круговому обертаючому обляганні, повніше серед інших марок стрічок, слідує обрису форми поверхні технологічної оправки типу 12.

Таблиця 6

Структура панелей підлоги III та IV типів призначення

Склад верхнього покриття (товщина $a = 1,1$ (0,85) мм)		Склад нижнього покриття (товщина $b = 0,65$ мм)		Склад внутрішніх стінок панелі (товщина $t = 0,65$ мм)		Склад торцевих стінок панелі		Розрахункова маса 1 м ² , за типами призначення, кг
Матеріал трьох елементів	Число шарів	Матеріал двох елементів	Число шарів	Матеріал двох елементів	Число шарів	Матеріал двох елементів	Число шарів	
1. Обшивка: Т-10-14 або Т-10-(ВМП)-4с	3 (2)	1. Обшивка: А-1 і Т-10-14	1 1	З'єднання двох стінок ТП: ЛЕСб+ЛЕСб	3+3	1. Оболонка ЛЕСб	3	III тип 4,2–4,5
2. Верхня полиця ТП: ЛЕСб	3	2. Нижня полиця ТП: ЛЕСб	3			2. Сталева стрічка: $c = 0,05–0,08$ мм	2	IV тип 4,6–4,9
3. Сталева стрічка: $c = 0,05–0,08$ мм	1							

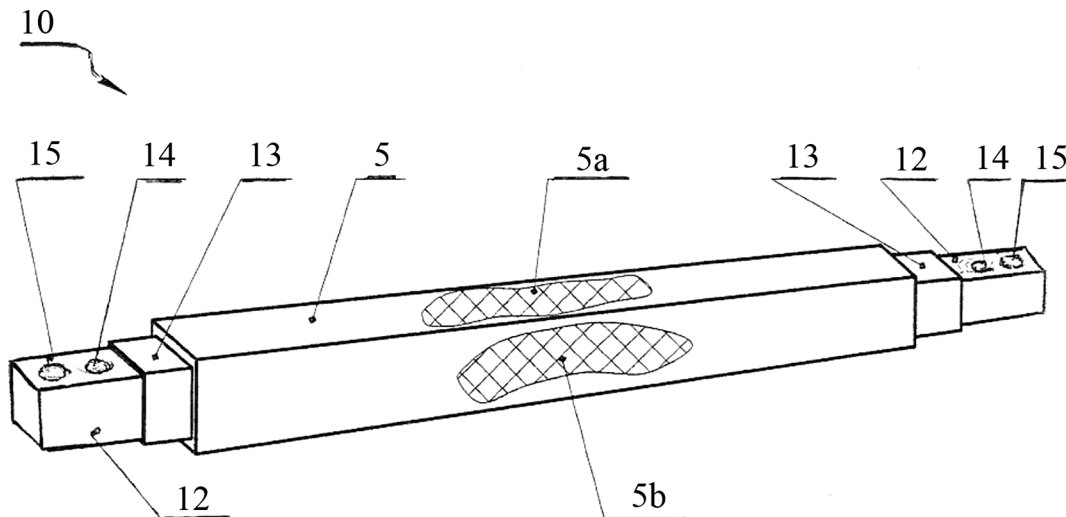


Рис. 4. Вид в аксонометрії сирих трубчастих профілів, розташованих на технологічній металевій формуючій оправці

В табл. 6 склотекстолітова верхня обшивка 2 панелі IV типу призначення є тришаровою, а III типу – двошаровою.

Панель підлоги в МФ-варіанті для спрощення в зіставленні прикладів створення аналогічних конструкцій ППС, виготовляють, як і її прототип [8], по препреговій технології з застосуванням методу одночасного вакуум-автоклавного формування листових склотекстолітових обшивок 2, 3 з трубчастим заповнювачем 4, утворюючи разом інтегральну конструкцію.

Поруч зі співпадаючою багато в чому технологією виготовлення (про це також йдеться нижче), дві порівнювальні панелі мають практично однакові товщини верхніх покриттів на рівні 1,1 мм, близькі за розмірами висоти та розрахункові маси 1 м² панелей III та IV типів відповідно на рівні 4,6–4,9 кг (табл. 3 і 6).

Ці та інші двосторонні конструктивно-технологічні відповідності дозволяють залучати одержані в [8] та з інших джерел експериментальні дані для порівняльного аналізу та обґрунтуванні висновків.

Одночасно слід зазначити, що в двох варіантах конструктивно-технологічних рішень є свої відмінні особливості, в першу чергу це стосується введення в МФ-варіанті чисельних різносторонніх посилень ТП, а разом з цим і конструкції панелі в цілому. Так, в порівнянні з прототипом, ТП мають посилені комбінованої структури верхні полиці 5а, 5б (табл. 6); мають також майже вдвічі більші по товщині стінки 7 панелі (табл. 6), що робить їх більш жорсткішими, несучеспроможнішими. В МФ-варіанті вони також розглядаються, як проміжні опори, що забезпечують місцеву жорсткість панелі при силовому навантаженні її верхнього покриття. Зазначена панель також має калібровані точної прямокутної форми внутрішні канали заповнювача 4;

малі радіуси кутових округлень ($r = 0,5...0,6$ мм) на стику «стінка – полиця» ТП, що, як позитивний наслідок, зменшує розміри маючих місце в прототипі напівпустотних галтельних жолобків на стику пари «стінки панелі – зовнішня та внутрішня обшивка». Вказане рішення згідно робіт ЦАГІ (РФ) підвищить несучу здатність підлогової панелі і її експлуатаційну витривалість [8–15].

Спосіб виготовлення тришарових панелей з трубчастим заповнювачем по препреговій технології і пов'язане з цим способом технологічне оснащення в загальній постановці, тобто без процесу введення структуру панелі зміцнювальних арматурних вставок, наведено в [9, 13, 14 та ін.]. Наявність останніх обумовлює появу ряду доповнень в технології виготовлення панелі, особливо це стосується ТП, а також в задіяне при цьому оснащення. Так, на рис. 4 показаний вигляд в аксонометрії сирих трубчастих профілів розташованих на технологічній формуючій оправці, а на рис. 5 – вигляд в аксонометрії установлювального пристрою точної фіксації арматурної вставки на поверхні верхньої полиці сирій композитної оболонки, що розташована на технологічній оправці (див. рис. 4) з пристикованими джерелами магнітного поля (М).

Формотворний лист основної каркасного типу форми виконують з застосуванням магнітом'яких матеріалів, наприклад, феромагнетиків зі значною магнітною проникністю, наприклад, переважно в інтервалі значень відносної магнітної проникності 5000–7000 одиниць в залежності від марки, структури та особливо товщини ПКМ. Формотворну оправку 12 з багаторазовим використанням виконують, перш за все, із металів з високою магнітною проникністю, наприклад, із сплаву «Інвар» чи із штабового заліза.

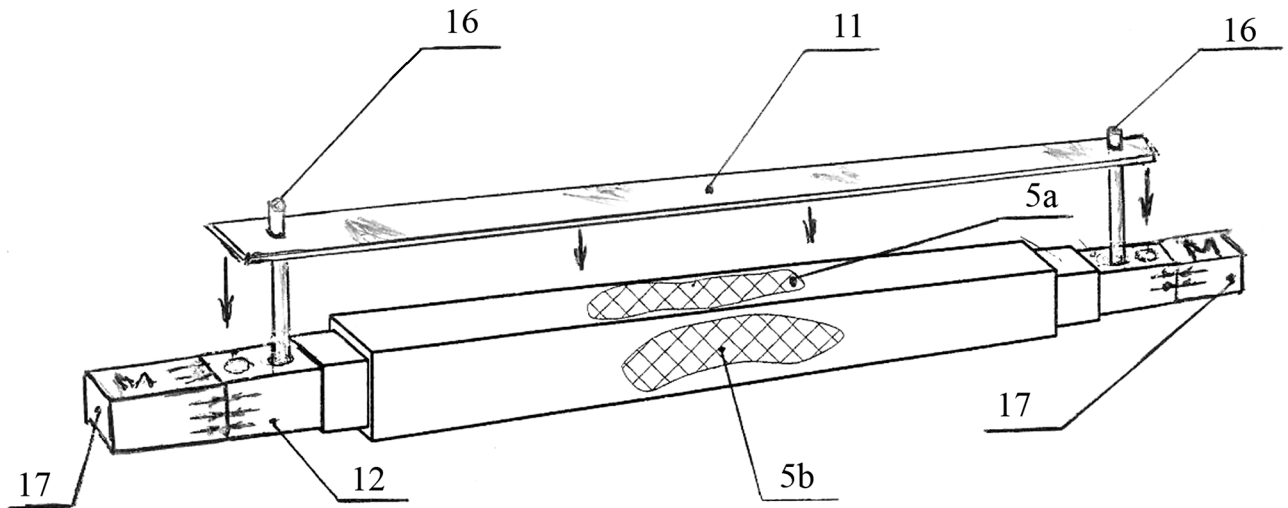


Рис. 5. Вид в аксонометрії установлювального пристрою точної фіксації стрічкової арматурної вставки

В металевих оправках 12 з антиадгезійним поверхневим шаром, наприклад, в вигляді плівки 13, отвори 14 призначені для установлення в них знімних фіксуючих штирів 16, а отвори 15 – для вилучення цих оправок механічним пристроєм після термосилового формування панелі.

Виготовлення препрегів із тканин і тканих стрічок здійснюють на просочувальних машинах вертикального типу, наприклад, УПСТ–1000М, УЛС–2М.

Для виготовлення сирих заготовок ТП, наприклад, із стрічкових препрегів, використовують намотувальне обладнання [10]. При цьому ці препреги повинні мати достатню липкість для покращеної сталості фіксації сталевих стрічок 11 на поверхнях полиць 5а, 6а сирих композитних заготовок ТП.

Виходячи з оптимальності конструктивно-технологічних рішень, можливе двоваріантне розміщення сталеві стрічки 11 в структурі ТП: міжшарове (арматурна вставка замотана в полицю і/або в стінку ТП) та поверхнєве. Вказане укомплектування залежить від місця знаходження ТП в структурі заповнювача 4, від кількості шарів ПКМ і трудомісткості робіт. Нижче відповідно наведені два приклади уналогодженого розміщення арматурної вставки 11 в структурі ТП.

Приклад 1. Тут використовують метод спірально-окружного намотування. На технологічну оправку 12 намотують два шари стрічкового препрега під кутами $\pm 45^\circ$, отримавши збалансовану структуру. Після цього в оправку 12 вставляють два фіксуючих штирі 16, на які нанизують сталеву стрічку 11 і притискають її до поверхні полиць 5а (6а). При нетривкому положенні сталеві стрічки 11, що не дає змоги намотати на неї третій шар під кутом 90° , використовують притягуючу дію магнітного поля за допомогою магнітів 17. Після цього проводять радіальне примотування одержаного

складання зі вставкою 11 стрічковим препрегом під кутом 90° . Одержаний автономний комбінований складу (технологічна оправка – оболонка) компонент аналогічний компоненту 10 передають на загальне складання з обшивками по традиційній технології [4–15]. При цьому тільки по першому варіанту виготовляють праві і ліві сири заготовки крайніх ТП, що мають бокові арматурні вставки 11 в торцевих стінках панелі 1.

Приклад 2. Після операції намотування на технологічні оправки 12 повного набору сирих композитних заготовок внутрішніх ТП, наприклад, тришарової по товщині стінок і структури, тобто без арматурних металевих вставок 11 (рис. 4), їх разом з крайніми трубчастими профілями 6 подають на загальне складання сирого панельного виробу. Сири ТП щільно укладають на поверхню попередньо викладеного пакету шарів внутрішньої обшивки 3. Після вирівнювання укладеного набору сирих ТП, на поверхню полиць 5а, 6а, тобто вздовж стрижневого профілю, поміщують згідно схеми на рис. 5 арматурні вставки 11.

Їх також можна помістити в принципі при відповідній доробці оснастки і поперек викладеного набору ТП, тобто паралельно торцям «А» на рис. 1.

Після укладання повного комплекту арматурних вставок 11, на утворену їми поверхню викладають пакет шарів верхньої обшивки 2. При цьому нижній шар цього пакету повинен мати більшу липкість, ніж верхні шари, для покращення адгезійного з'єднання з ТЗ.

Поверх вказаного пакета укладають жорсткий приформовуючий лист (цулагу) і вкупі утворений збірно-технологічний пакет поміщують у вакуумний мішок.

Таким чином, сири композитні обшивки 2, 3 та виготовлений набір з комбінованою структурою

заготовок трубчастих профілів 5, 6, які блоково сформовані в шаровий трубчастий заповнювач 4, використовують для виготовлення тришарових багатостінних панелей 1 інтегрального типу шляхом складання вказаних компонентів та одночасного термосилового формування цього поєданого сполучення в монолітне ціле. Найбільш поширеним на сьогодні є вакуум-автоклавне формування, наприклад, в горизонтальних автоклавах фірми «Шольц» [8, 9, 11–13, 22]. Після формування панелі 1 і її демонтажу з основної форми, з неї вилучають за допомогою технічного пристрою комплект металевих оправок 12 і передають її далі для проведення фінішних операцій [10, 13 та ін.].

3.3. Переваги запропонованого варіанту модифікації тришарової багатостінної панелі

В тришаровій інтегрального типу багатостінній панелі із ПКМ, призначеної для застосування в авіаційній техніці, насамперед, в панелях підлоги у порівнянні з прототипом та аналогами забезпечуються:

1. Підвищення міцності на місцеве стиснення (зім'яття) та руйнівне продавлювання верхнього покриття панелі при подіянні навантаження типу «каблук – шпилька».

2. Висока жорсткість панелі на прогин за рахунок зміцнювального потовщення стінок (внутрішніх ребер) та полиць ТЗ з доповненням їх армуванням, а також за рахунок інших факторів (п.п. 3, 4 та ін.), що підвищують несучу спроможність панелі, в тому числі має місце підвищення приведенного модуля пружності ТЗ в напрямку нормальному до поверхні панелі.

3. Підвищення якості та несучої спроможності панелі за рахунок точної (каліброваної) форми прямокутних перерізів ТП, а також малих значень радіусів округлень на стику пари «стінка – полиця ТП».

4. Підвищення вологостійкості панелі за рахунок утвореного захисного шару з набору поздовжніх стрічкових арматурних вставок, які перешкоджають проникненню вологи в порожнини ТП.

5. Підвищення технологічності, за рахунок практично повного усунення заповнювачів – сферо-пластів в торцях панелі, а також за рахунок можливості застосування безавтоклавних методів формування інтегральних конструкцій, як інжекція та інфузія, а також застосування магнітних полів в технологічних цілях.

6. Висока придатність для ремонту багатостінних панелей, та спрощення експлуатаційного обслуговування, наприклад, у випадках необхідності видалення води з порожнин ТП з наступним просушуванням панелі шляхом наскрізного продування (через багатоотвірні торці панелі).

Крім того, на основі досвіду довготривалої експлуатації багатостінних композитних панелей, можна зробити висновок, що незалежно від типу ППС, період між початковим ушкодженням та повним їх руйнуванням буде достатньо великим, даючи експлуатаційній організації можливість замінити панель при наступному технічному огляді.

7. Підвищення логістичних переваг та економічної ефективності за рахунок використання в конструкції панелі широкозастосовуваних в промисловості та економічно вигідних ПКМ, при цьому практично одного типу, наприклад склопластиків українського виробництва, а також за рахунок більшого об'єму механізованих робіт.

Зазначені переваги забезпечують більшу адаптацію панелей підлоги ПС запропонованого в МФ-варіанті до конструктивно-технологічних, економічних та експлуатаційних вимог споживачів виробів авіатехніки у порівнянні з прототипом [8] та діючими аналогами.

Закінчення

Приведений в статті вибірковий аналіз даних по застосуванню в авіабудуванні пінопластових, стільникових та багатостінних композитних сандвіч-панелей і, в першу чергу, в панелях підлоги ПС, вочевидь допускає прийти до таких основних висновків:

- запропонований варіант конструкторсько-технологічної модифікації тришарових багатостінних панелей дозволяє значно розширити область застосування таких конструкцій в авіабудуванні, наприклад, в панелях підлоги ПС, замість наявних на сьогодні сандвіч-панелей з пінопластовим та стільниковим заповнювачами, переважаючи ці дві структури по техніко-економічним та експлуатаційним характеристикам;

- сучасні композиційні матеріали та технологічні системи, такі як, високоефективні конструкційні склотканини та склострічки; преформи; безавтоклавні методи формування, в т.ч. інжекція і інфузія; способи намотування, насамперед, на технологічних металевих оправках; можливість застосування магнітних полів в технологічних цілях та інше, дають змогу звести до мінімуму тривалість виготовлення та вартість сандвіч-панелей з трубчастим заповнювачем.

Література

- [1] Кива Д. С., Забашта В. Ф. О фундаментальном свойстве полимерных композиционных материалов в контексте создания и производства эффективных конструкций // Технологические системы. 2015, № 3, с. 45–56.

- [2] Душин М. И., Ермолаев А. М. и др. Углепластики в панелях пола трехслойной конструкции // Электронный ресурс: viam.ru/public/files/1976/1978-19753/.pdf.
- [3] Патент 2250830 Россия МПК кл. В32В9/06, Е0401/36 опубл. 27.04.2006.
- [4] Патент 2460745 Россия МПК кл. С08L93/00 опубл. 10.09.2012.
- [5] Неминский Г. В., Демиденко З. И. и др. Опыт изготовления панелей интерьера пассажирских самолетов. В сб. «Композиционные материалы в промышленности». Материалы 28 международной конференции 21–30 июня 2008 г., Ялта, с. 180–182.
- [6] Шершак Г. В., Шокин Г. И., Егоров В. И. Технологические особенности производства трехслойных сотовых панелей пола воздушных судов // Авиационная промышленность. 2014, № 3, с. 34–42.
- [7] Смердов А. А., Таирова А. П. Расчетно-экономический анализ двух типов структур из углепластика для крупногабаритных ракетно-космических конструкций // Электронный ресурс: engjournal.ru/files/859/859.pdf.
- [8] Двейрин А. З., Майорова Е. В. Анализ эффективности внедрения интегральных конструкций с трубчатыми элементами из композиционных материалов // Электронный ресурс: www.khai.edu/esp/hachportal/Archiv/VPPKLA/2011/dveirin.pdf.
- [9] Стрельников С. В., Застрогина О. Б. и др. Влияние технологии склеивания на прочность трехслойных панелей // Клеи. Герметики. Технологии. № 7, 2013, с. 23–29.
- [10] Забашта В. Ф., Кривов Г. А., Бондарь В. Г. Полимерные композиционные материалы конструкционного назначения. – К.: Техніка, 1993. – 157 с.
- [11] Кива Д. С., Цариковский В. И. и др. Исследование влияния трубчатого заполнителя на прочность трехслойных панелей из КМ. В сб. «Композиционные материалы в промышленности». Материалы 29 международной конференции 2009 г., Ялта, с. 64–66.
- [12] Патент 85790 Украина МПК кл. В29С43/02, В29С69/00, В29С70/00, В64С1/00, В64С3/00, В64С3/26 опубл. 25.11.2013.
- [13] Патент 84347 Украина МПК кл. В29С43/02, В29С69/00, В29С70/00, В64С1/00, В64С3/00, В64С3/26, опубл. 25.03.12.
- [14] Патент 88883 Украина МПК кл. В29С43/02, В29С69/00, В29С70/00 опубл. 10.04.2014.
- [15] Патент Украины (заявка ч 201705405) МПК кл. В29С69/00.
- [16] ГОСТ 21996–76. Лента стальная холоднокатанная термообработанная.
- [17] ГОСТ 19807–91, ГОСТ 90027–91. Лента титановая.
- [18] ГОСТ 19170–2001. Конструкционные стеклоткани Т-10-14, Т-10(ВМП)-4с, Т-15(П)-76.
- [19] ГОСТ 5937–81. Стеклолента марки ЛЭСб.
- [20] ТУ 6–48–50–90. Лента стеклянная конструкционная марки ЛСК-ВМ-0,1×35-76.
- [21] ГОСТ 8481–75. Стеклоткань авиационная марки А-1.
- [22] ТР 1.2.924–84. Приготовление и применение полимерных заполнителей – сферопластов ВПЗ-7 и ВПЗ-7М.
- [23] Аниховская В. С., Петрова А. И. Склеивание в авиационной промышленности // Клеи. Герметики. Технологии. 2005, № 10, с. 3–9.
- [24] ТИ 59–1026–01. Связующее 5-211БН.
- [25] Давыдова И. Ф., Кавун Н. С. Огнестойкие стеклопластики в конструкциях мотогондол двигателей // Электронный ресурс: www.viam.ru/public.8.
- [26] Конструкция и технология изготовления панелей пола багажного отсека самолета Ан-148 // Электронный ресурс: <http://www.aerbest.ru/transport/06189215>.
- [27] Нестерук Д. А. Тепловой неразрушающий контроль воды в сотовых авиационных конструкциях // Электронный ресурс: avia.nau.edu.ua/doc/2011/1/avia.2011/1...8/pdf/.

Kiva D. S.¹, Zabashta V. F.², Zabashta Ye. Yu.³

¹ Azerbaijan Airlines (AZAL). Azerbaijan, Baku

² Ukrainian Research Institute of Aviation Technology, JCS. Ukraine, Kyiv

³ Kyiv National University of Technologies and Design. Ukraine, Kyiv

WAYS OF DEVELOPMENT OF PRACTICAL APPLICATION IN AIRCRAFT BUILDING OF THE THREE-LAYER PANELS FROM POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS

The article reads about three-layer panels of the aviation setting from polymeric composite materials with foam plastic, cellular and tubular fillers with the accent on their application, as a distinct direction, in floor panels of aircraft (PS). In this case, the tubular filler is a set of densely located side towards hollow profiles of rectangular cross section for the formation of a multi-wall panel.

The comparative characteristics of these three types of panels are given. It is shown that according to technical, economic and operational indicators the most promising in different directions of application, including there are exactly multiwall panels in the panels of aircraft floor. In this case, the concomitant separate problems associated with its application are detected, as well as the structural and technological ways to solve them are presented, including the way of a relatively shallow modification of this type of composite structures. This increases the carrying capacity of multilayer panels by individual indicators, above all, effective against the local push-pulling of the sheathing by indenter (imitation of damage from heel-stud women's shoes).

Keywords: composites; aircraft floor; multi-wall panel; prepreg, winding; autoclave formation; magnetic devices; indenter; heels.

References

- [1] Kyva D. S., Zabashta V. F. O fundamental'nom svoystve polymernykh kompozytsyonnykh materialov v kontekste sozdaniya y proizvodstva efektyvnykh konstruksyy // Tekhnolohycheskiye systemy. 2015, № 3, s. 45–56.
- [2] Dushyn M. Y., Ermolaev A. M. y dr. Uhleplastyky v paneleyakh pola trekhsloynoy konstruksyy // Elektronnyy resurs: viam.ru/public/files/1976/1978-19753/pdf.
- [3] Patent 2250830 Rossyya MPK kl. V32V9/06, E0401/36 opubl. 27.04.2006.
- [4] Patent 2460745 Rossyya MPK kl. S08L93/00 opubl. 10.09.2012.
- [5] Nemynskyy H. V., Demydenko Z. Y. y dr. Opyt yzhotovlenyya paneley ynter'era passazhyrskyykh samoletov. V sb. «Kompozytsyonnye materialy v promyshlennosty». Materialy 28 mezhdunarodnoy konferentsyy 21–30 yyunya 2008 h., Yalta, s. 180–182.
- [6] Shershak H. V., Shokyn H. Y., Ehorov V. Y. Tekhnolohycheskiye osobennosty proizvodstva trekhsloynnykh sotovykh paneley pola vozdushnykh sudov // Avyatsyonnaya promyshlennost'. 2014, № 3, s. 34–42.
- [7] Smerdov A. A., Tayrova A. P. Raschetno-ekonomycheskiy analiz dvukh tipov struktur yz uhleplastyka dlya krupnohabarytnykh raketno-kosmycheskykh konstruksyy // Elektronnyy resurs: engjournal.ru/files/859/859.pdf.
- [8] Dveyryn A. Z., Mayorova E. V. Analiz efektyvnosty vnedrenyya yntehral'nykh konstruksyy s trubchatymy elementamy yz kompozytsyonnykh materialov // Elektronnyy resurs: www.khai.edu/esp/hachportal/Archiv/VPPKLA/2011/dveirin.pdf.
- [9] Strel'nykov S. V., Zastrohyna O. B. y dr. Vlyyanye tekhnolohyy skleyvaniya na prochnost' trekhsloynnykh paneley // Kley. Hermetyky. Tekhnolohyy. № 7, 2013, s. 23–29.
- [10] Zabashta V. F., Kryvov H. A., Bondar' V. H. Polymernye kompozytsyonnye materialy konstruksyonnoho naznacheniya. – K.: Tekhnika, 1993. – 157 s.
- [11] Kyva D. S., Tsarykovskyy V. Y. y dr. Yssledovanye vlyyaniya trubchatoho zapolnyteleya na prochnost' tekhsloynnykh paneley yz KM. V sb. «Kompozytsyonnye materialy v promyshlennosty». Materialy 29 mezhdunarodnoy konferentsyy 2009 h., Yalta, s. 64–66.
- [12] Patent 85790 Ukraine MPK kl. V29S43/02, B29C69/00, B29C70/00, B64C1/00, B64C3/00, B64C3/26 opubl. 25.11.2013.
- [13] Patent 84347 Ukraine MPK kl. B29C43/02, B29C69/00, B29C70/00, B64C1/00, B64C3/00, B64C3/26, opubl. 25.03.12.
- [14] Patent 88883 Ukraine MPK kl. B29C43/02, B29C69/00, B29C70/00 opubl. 10.04.2014.
- [15] Patent Ukraine (zayavka u 201705405) MPK kl. B29C69/00.
- [16] GOST 21996–76. Lenta stal'naya kholodnokatannaya termoobrabotannaya.
- [17] GOST 19807–91, HOST 90027–91. Lenta tytanovaya.
- [18] GOST 19170–2001. Konstruksyonnye steklotkany T-10-14, T-10(VMP)-4s, T-15(P)-76.
- [19] GOST 5937–81. Steklolenta marky LESb.
- [20] TU 6–48–50–90. Lenta steklyannaya konstruksyonnaya marky LSK-VM-0,1×35-76.
- [21] HOST 8481–75. Steklotkan' avyatsyonnaya marky A-1.
- [22] TR 1.2.924–84. Pryhotovlenye y prymerenye polymernykh zapolnyteley – sferoplastov VPZ-7 y VPZ-7M.
- [23] Anykhovskaya V. S., Petrova A. Y. Skleyvaniye v avyastroenyy // Kley. Hermetyky. Tekhnolohyy. 2005, № 10, s. 3–9.
- [24] TY 59–1026–01. Svazyuyushchee 5-211BN.
- [25] Davydova Y. F., Kavun N. S. Ohnestoykiye stekloplastyky v konstruksyyakh motohondol dvyhateley // Elektronnyy resurs: www.viam.ru/public.
- [26] Konstruksyya y tekhnolohyya yzhotovlenyya paneley pola bahazhnoho otseka samoleta An-148 // Elektronnyy resurs: <http://www.aerbest.ru/transport/06189215>.
- [27] Nesteruk D. A. Teplovoy nerazrushayushchyy kontrol' vody v sotovykh avyatsyonnykh konstruksyyakh // Elektronnyy resurs: avia.nau.edu.ua/doc/2011/1/avia.2011/1...8/pdf/.