
УДК 629.7.015.4:539.3

АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ПЛОСКОГО ГЕРМОШПАНГОУТА ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІТАКА З РІЗНОТОВЩИННОЮ СТІНКОЮ

Митряшкін О.В.¹, Онищенко Є.Є.²

1 – ТОВ «Прогрестех – Україна», м. Київ, Україна

2 – КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: З метою розв'язання актуальної у авіабудуванні задачі скорочення витрат часу на вибір оптимальних варіантів конструкторських рішень, розроблена аналітична модель для розрахунку регулярної зони плоского підкріпленого гермошпангоута пасажирського літака з урахуванням різнотовщинності його стінки. За основу прийнята модель С. П. Тимошенка циліндричного згину пластини. Вплив стовищеної частини пластини, підкріплюючого ребра і заклепок враховується шляхом введення у модель пружних елементів відповідної жорсткості. Адекватність моделі оцінюється порівнянням з результатами скінченоелементного аналізу. Робиться висновок про прийнятність розробленої моделі для застосування на етапах ескізного проектування.

Ключові слова: скінченоелементний аналіз;

Вступ. В умовах сучасного авіабудування витрати часу на підготовку пакету конструкторської документації суттєво впливають на економічні показники проекту і в цілому на конкурентоспроможність продукції. На етапах ескізного проектування або модернізації літаків значні витрати часу пов'язані із необхідністю оцінки великої кількості різних варіантів конструкторських рішень та розрахункових випадків з метою оптимізації конструкції. Чисельні методи розрахунку авіаційних конструкцій, які базуються на використанні комп'ютерної техніки, наприклад, метод скінчених елементів, забезпечують високу точність результатів, але мобільність цих методів, особливо на початкових етапах проектування, часто є неприйнятно низькою. У багатьох випадках вони потребують великих витрат часу на створення та обрахунок чисельної моделі. Тому актуальною задачею є створення аналітичних моделей для розрахунку окремих елементів конструкції літаків, яка б надавала можливість швидко і з достатньою точністю отримати необхідні результати.

Експлуатація пасажирських літаків на великих крейсерських висотах потребує використання герметичного салону у якому надлишковий тиск може досягати 40 – 70 кПа. Конструкції фюзеляжів пасажирських літаків в більшості випадків представляють собою

близьку до циліндричної форми, підкріплену поздовжніми і поперечними силовими елементами герметичну оболонку, носова і хвостова частина якої закінчуються гермошпангоутами. У хвостовій частині застосовується сферичний гермошпангоут. Розташування у носовій частині літака радіолокаційного обладнання не дає можливості використовувати тут більш вдалу з точки зору міцності та маси конструкцію сферичного гермошпангоута. Для герметизації носової частини застосовують плоский гермошпангоут з достатньо потужним підкріпленням поздовжніми ребрами.

Постановка задачі. Метою цієї роботи є розробка аналітичної моделі для розрахунку регулярної зони плоского підкріпленого гермошпангоута пасажирського літака з урахуванням різнотовщинності його стінки.

Конструкція плоского гермошпангоута (рис. 1) є збірною. Він складається з фрезерованої пластини та приєднаних до неї заклепковими швами елементів жорсткості. Розміри секції гермошпангоута наведені в таблиці 1. Більша товщина стінки шпангоута в зоні кріплення з ребром жорсткості обрана для зменшення напружень поблизу концентратора – отвору під заклепку. Також для зменшення концентрації напружень виконано радіусний перехід між ділянками шпангоута з різними товщинами стінки. Гермошпангоут працює в умовах перепаду тиску. На його внутрішню поверхню, де розміщені підкріплюючі елементи, діє різниця тиску $p = 68.9$ кПа.

При розробці аналітичної моделі для розрахунку гермошпангоута розглядалась частина його конструкції – стінка між сусідніми ребрами жорсткості. За основу було прийнято модель, поведінка якої описується диференціальним рівнянням циліндричного згину пластини (1), яке було отримано С. П. Тимошенко [1].

$$D \frac{d^2 w}{dx^2} = -M(x), \quad (1)$$

де D – циліндрична жорсткість пластини; $w(x)$ – прогин пластини; $M(x)$ – згинаючий момент.

Стовщена частина пластини та полка підкріплюючого елемента замінювались пружною опорою (рис.2), яка має жорсткість k . Жорсткість k визначалась ітераційним шляхом з умови рівності кутів повороту на краях жорстко защемленої з одного боку пластини і пластини на пружних опорах. При цьому здійснювався ряд ітерацій для уточнення згинаючого моменту, поздовжньої сили та кута повороту нормалі. Вплив підкріплюючого ребра та заклепки враховувався лінійною пружиною (рис.2), жорсткість якої c визначалась аналітично з розв'язку задачі про згин консольної пластини та задачі про розтяг заклепки

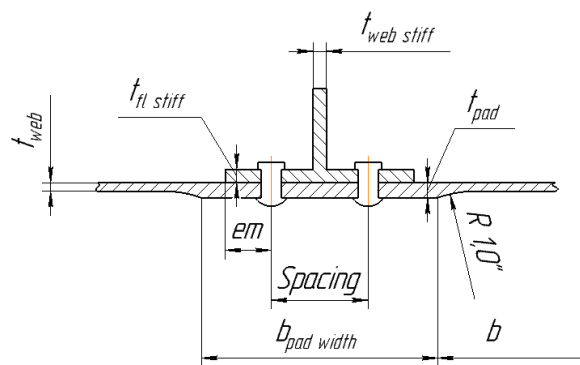


Рис. 1. Поперечний переріз зони з'єднання елемента жорсткості та стінки шпангоута

Таблиця 1

Розміри секції гермошпангоута (у міліметрах)

$b_{pad\ width}$	t_{web}	em	t_{pad}	$t_{fl\ stiff}$	$t_{web\ stiff}$	$Spacing$	b
60	2.0	11	3.6	3.2	3.2	23	220

Діаметр заклепки $d = 4,8$ мм.

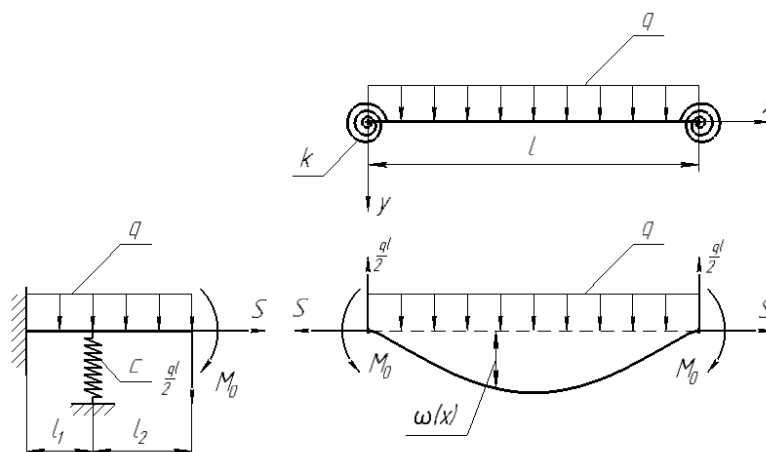


Рис. 2. Розрахункова схема

Результати роботи. Адекватність розробленої аналітичної моделі оцінювалась за трьома параметрами, що визначались у характерних точках пластини: прогин, перші головні напруження, треті головні напруження. Результати розрахунків за допомогою запропонованої аналітичної моделі та чисельного розрахунку методом скінчених елементів в пакеті Patran\Nastran [2] наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків

Параметр	Аналітична модель	Чисельний розрахунок	Розбіжність δ , %
Прогин ω , мм $x = l/2$:	3.23	3.28	1.55%
Перше головне напруження σ_1 , МПа $x = 0$: $x = l/2$:	196.6	180.5	8.19%
	101.7	101.9	0.18%
Третє головне напруження σ_3 , МПа $x = 0$: $x = l/2$:	-114.5	-101.4	11.45%
	-16.6	-19.3	1.72%

Висновки. Як видно з результатів, розбіжність у визначенні одного з параметрів (третього головного напруження), перевищує її очікувану в 10% величину на 1.45%. Така розбіжність результатів спостерігається в зоні пружних опор ($x = 0$), що можна пояснити розміром скінченоелементної сітки та видом апроксимації (недостовірні результати щодо кута повороту нормалі у вказаній зоні). Аналітична модель завищує напруження збільшуючи таким чином запас міцності. Зважаючи на досить близькі результати обох розрахунків, запропонована аналітична модель регулярної зони плоского підкріпленого гермошпангоута з урахуванням різновтовщинності його стінки може бути прийнята для застосування на етапах ескізного проектування.

Список літератури:

1. *S.Timoshenko, S.Woinowsky-Krieger Theory of Plates and Shells*, – McGraw-Hill Book Company inc, 1959 – 635 с.
2. *MSC Nastran 2012.2 Quick Reference Guide*, – MSC.Software Corporation, 2012 – 3500 с.