

## **Оцінка несучих властивостей панельних стільникових конструкцій з врахуванням експлуатації**

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»*

На основі результатів довготривалої експлуатації запропоновано скінченно-елементну модель інтерцептора стільникової конструкції, що дозволяє оцінити несучу властивість інтерцептора за наявності дефекту типу відшарування.

**Ключові слова:** відшарування, стільникова конструкція, несуча властивість, напружено-деформований стан, скінченно-елементна модель, інтерцептор.

### **Вступ**

Широке використання трьохшарових конструкцій в авіації розпочалось ще з 60-років минулого сторіччя. Таке розповсюдження обумовлено високими характеристиками міцності і жорсткості та відносно невеликою вагою трьохшарових конструкцій у порівнянні із традиційними.

Найбільше розповсюдження серед трьохшарових конструкцій отримали конструкції із стільниковим заповнювачем з алюмінієвих сплавів та з полімерних матеріалів.

Застосування стільникових конструкцій динамічно збільшувалося у період другої половини ХХ століття. На сьогоднішньому етапі стільники зайняли свою нішу в елементах конструкції літака.

Не зважаючи на великий досвід в області застосування стільникових конструкцій та їх переваги над традиційними [1-6], сьогодні простежується тенденція заміни існуючих стільникових конструкцій на інші, що обумовлено суттєвими недоліками: недостатній адгезійний зв'язок обшивки із заповнювачем; непроклеї обшивки та стільникового заповнювача; корозія стільників; старіння та втрата властивостей клею; недотримання параметрів технологічного процесу та інше. Також стільникові конструкції схильні до локального накопичення вологи в об'ємі заповнювача з наступним її замерзанням при низьких температурах навколишнього середовища. У результаті чого, відбувається відрив обшивок від заповнювача і буквально «вибухове» руйнування трьохшарових оболонок.

### **Постановка задачі**

Експлуатація авіаційних конструкцій з пошкодженнями допускається у тому випадку, коли залишкова міцність конструкції не нижче мінімальної нормуючої величини та швидкість розвитку дефектів не перевищує визначених значень. При не виконанні цих умов, наявність пошкоджень створює загрозу руйнування елемента конструкції у процесі експлуатації, що може негативно вплинути на функціонування всього літального апарату (ЛА). Тому подальша експлуатація ЛА можлива тільки після виконання ремонту. При цьому його необхідність і тип ремонтних робіт повинні бути обумовлені результатами оцінки несучої здатності пошкодженої конструкції, що можливо при наявності надійних методів розрахунку напружено-деформованого стану конструкції з дефектом типу відшарування при заданих умовах експлуатації [7].

**Метою** даної роботи є оцінка несучих властивостей панельних стільникових конструкцій на основі аналізу реальних (виявлених) дефектів типу відшарування обшивки від стільникового заповнювача у процесі експлуатації літака.

### Результати досліджень

Однією з особливостей процесу відшарування є локальна втрата стійкості та випинання відшарованої частини, що призводить до наступного зростання зони дефекту під час експлуатації. Це може стати причиною загального руйнування елемента конструкції при навантаженні, яке значно менше розрахункового рівня.

Як відомо з досліджень [8], при досягненні критичного навантаження можливі три види втрати стійкості елементів конструкції з дефектами типу відшарування. Перший вид втрати стійкості - глобальне випинання всієї конструкції (рис. 1, а). Другий вид (рис. 1, б) – локальне випинання лише відшарованої частини, яким є основним видом руйнування. Третій вид – змішаний (рис. 1, в) при якому можлива локальна і глобальна втрата стійкості.

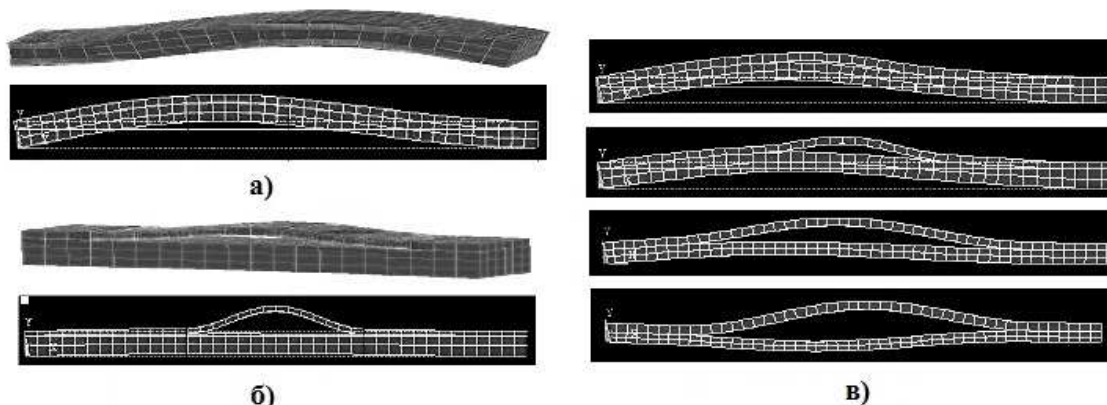


Рис. 1. Форми втрати стійкості  
а – глобальна; б – локальна; в – змішана

З врахуванням вказаних особливостей процесу відшарування на прикладі інтерцептора літака побудовані скінченно-елементні моделі стільникової композиційної конструкції без відшарування та з відшаруванням.

Загальний вигляд моделі без відшарування представлений на рис. 2.

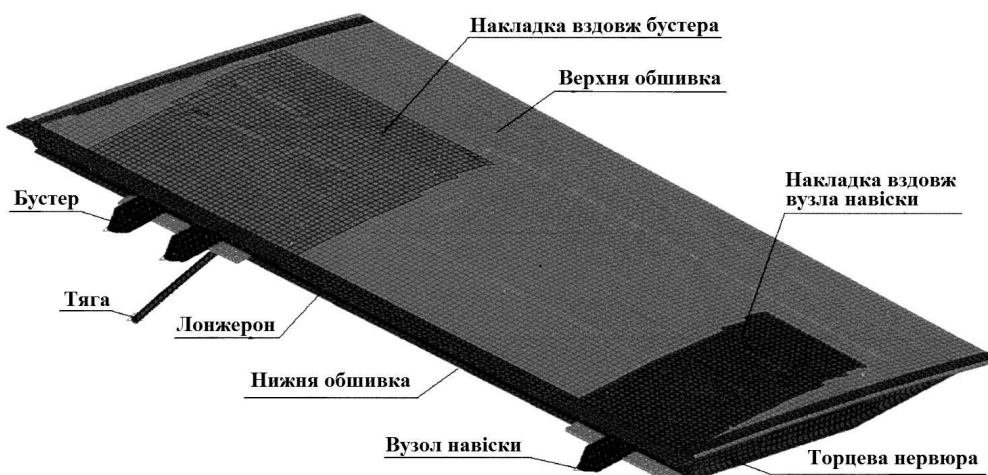


Рис. 2. Загальний вигляд моделі без відшарування

Елементи конструкції інтерцептора (обшивки, лонжерон, стінка, торцеві нервюри, накладки) виготовлені із композиційних матеріалів, вузли кріплення – з матеріалу Д16Т.

Моделювання конструкції з відшаруванням обшивки від стільникового заповнювача проведено з врахуванням даних (рис. 3) отриманих при огляді реальної конструкції інтерцептора після декількох років його експлуатації.

Наявність відшарування враховується шляхом не поєднання вузлів обшивки, структурних елементів скінченно-елементної моделі, з аналогічними вузлами стільників.

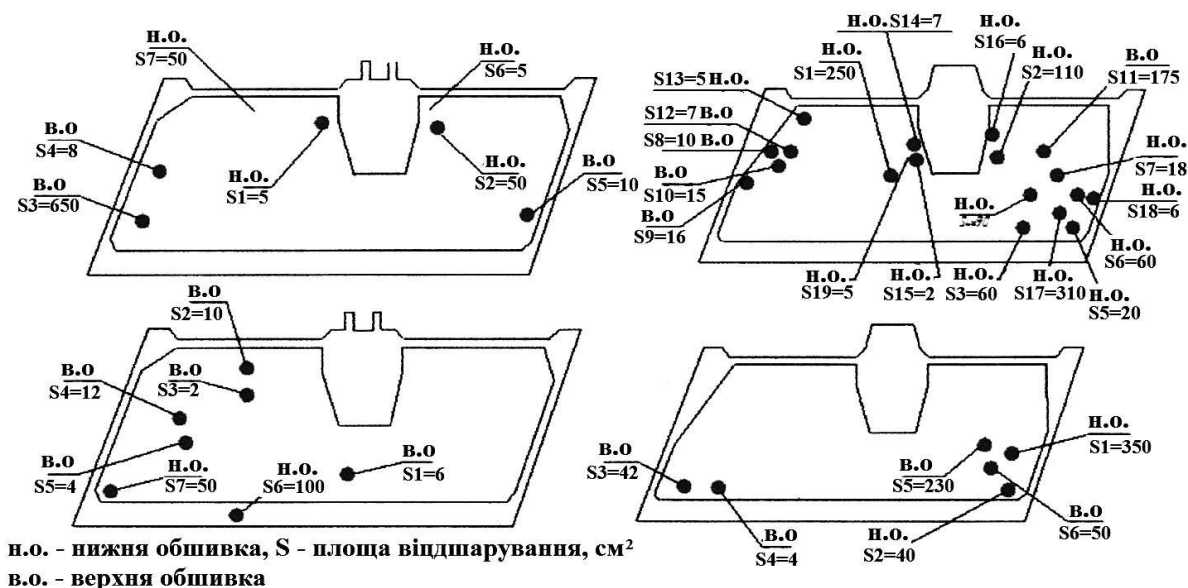


Рис. 3. Схеми розміщення відшарувань на інтерцепторі та їхня площа

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) вище зазначених моделей проведено при однакових силових умовах, представлених на рис. 4.

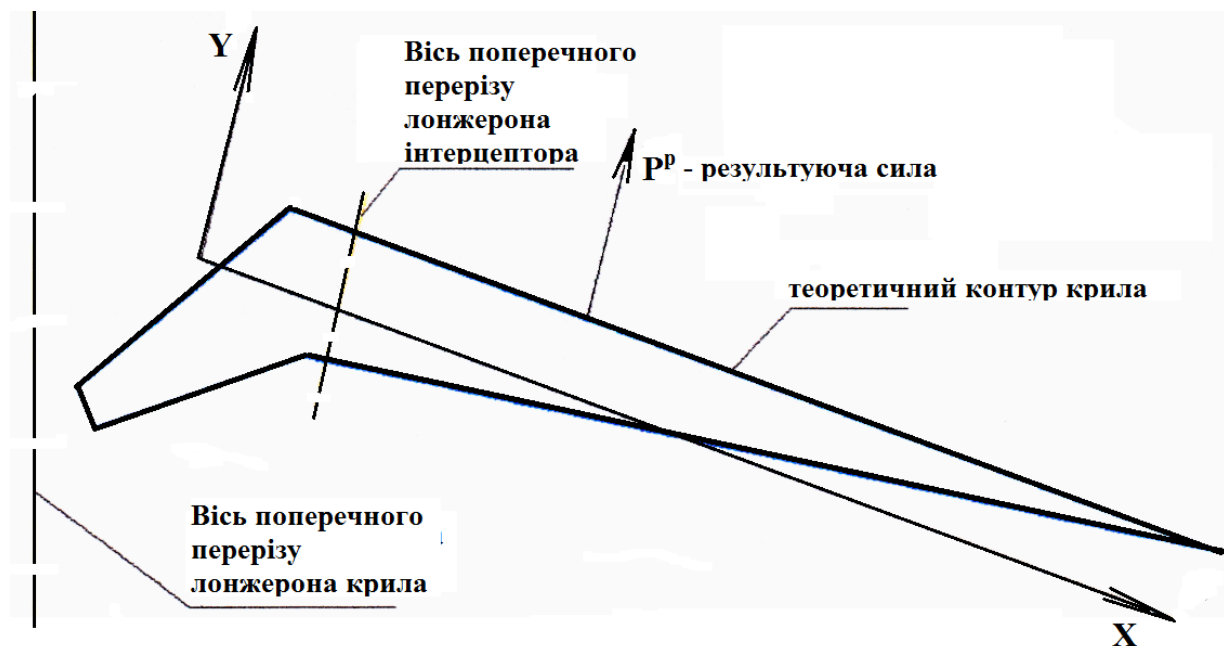


Рис. 4. Схема навантаження моделей інтерцептора

Питоме навантаження від результуючої сили розподілене по поверхні інтерцептора: вздовж хорди - по закону трикутника, по розмаху – рівномірно. Положення центру тиску у розрахунках прийнято  $\overline{x_d} = 0,3$  відносно хорди інтерцептора. Моделі закріплені шарнірно у вузлах кріплення.

Дослідження проведено у два етапи. Перший етап – побудова скінченно-елементної моделі у програмному комплексі FEMAP. Другий етап – проведення розрахунку із застосуванням програми NASTRAN.

Результати проведених досліджень представлені на відповідних графіках.

На рис. 5 представлені зображення моделей із різними варіантами відшарування, а також їх НДС.

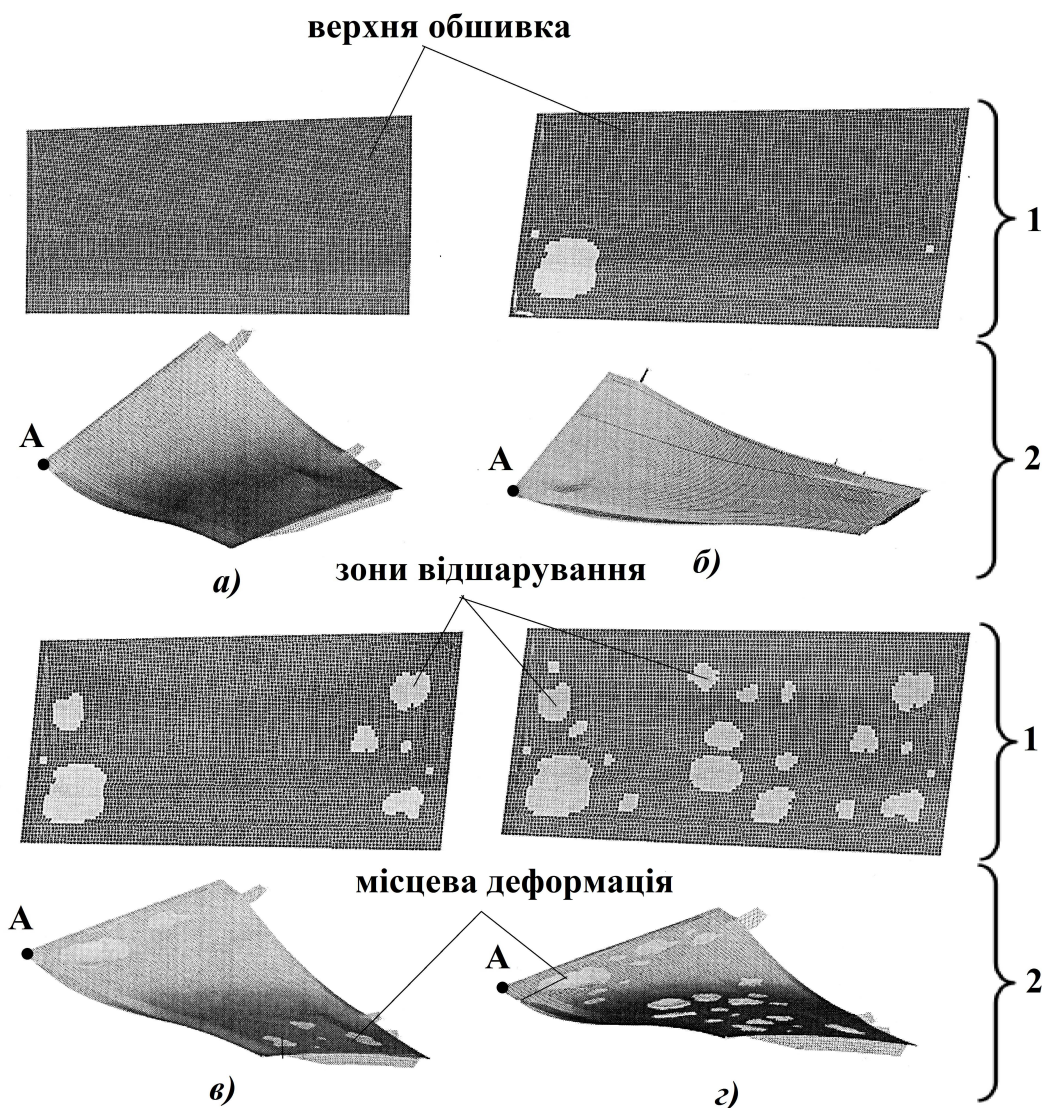


Рис. 5. Схеми розміщення відшарування та НДС моделей

а - модель без відшарування; б - 3,7% площі моделі відшаровано; в - 7,5% площі моделі відшаровано; г - 16,9% площі моделі відшаровано; А – точка максимального переміщення деформованої конструкції відносно вихідного положення; 1 – вихідний стан; 2 – деформований стан

На рис. 6 представлений графік зміни переміщення точки А (рис. 5) в залежності від збільшення площі відшарування.



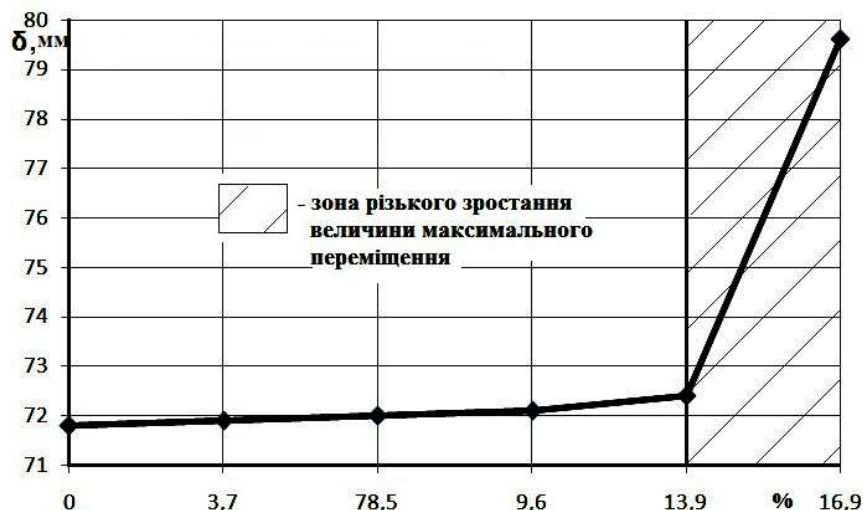


Рис. 6. Залежність величини максимального переміщення точки А від площі відшарування

Як видно з характеру зміни НДС (рис. 5) та величини переміщення (рис. 6) досліджених моделей, верхні обшивки деформуються як загалом так і місцево, що змінює теоретичний контур крила і його аеродинамічні характеристики навіть у випадку збереження несучої властивості.

Вплив площі відшарування на деформацію конструкції представлений на рис. 7.

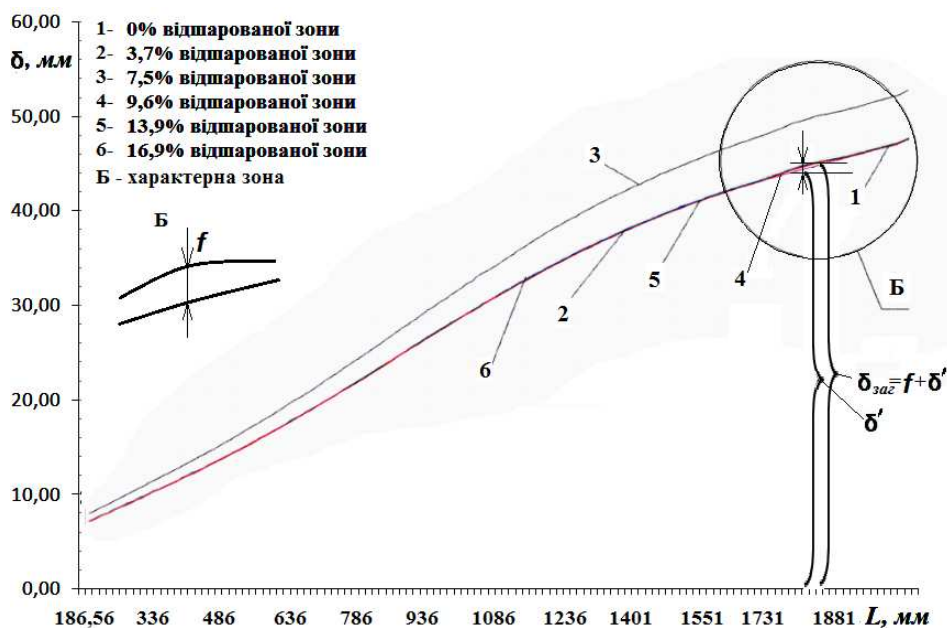


Рис. 7. Прогин інтерцептора по розмаху

В характерній зоні Б (рис. 7) показано накладання місцевого прогину  $f$ , що виникає у результаті наявності відшарування, на загальне переміщення конструкції  $\delta'$ .

В зоні інтенсивного відшарування (рис. 7) на деформацію конструкції (рис. 5, 6) впливає не тільки збільшення площі відшарування, а й розміщення цих площ відшарування по поверхні конструкції. Особливо небезпечним є відшарування в

середині конструкції при наявності вологи, що може призвести до утворення корозії стільників і вибухового руйнування всієї конструкції.

### Висновки

У результаті проведених досліджень з оцінки несучих властивостей панельних стільникових конструкції з врахуванням експлуатації виявлено, що:

- запропоновані моделі дають можливість достатньо точно дослідити особливості роботи стільникового інтерцептора і оцінити параметри його НДС;
- відшарування обшивки від стільників не дає значних змін у загальній деформації елемента при малих площах відшарування (приблизно до 14%) і значно збільшує загальне переміщення конструкцій при площах відшарування більше 14%;
- відшарування суттєво впливає на місцеву стійкість, відбувається локальна деформація місць відшарування, що в процесі експлуатації приводить до деформації несучих поверхонь крила, зміни аеродинамічних характеристик і руйнування конструкції.

### Список літератури

1. Кобелев В.Н. Расчет трехслойных конструкций: Справочник/В.Н. Кобелев, Л.М.Коварский, С.И.Тимофеев; Под общ. ред. В.Н.Кобелева. - М.: Машиностроение, 1984. - 304 с., ил.
2. Ендогур А.И. Сотовые конструкции. Выбор параметров и проектирование / А.И.Ендогур, М.В. Вайнберг, К.М. Иерусалимский. М.: Машиностроение, 1986, 200 с., ил.
3. Абибов А.Л. Исследование в области изготовления трехслойных конструкций с легким наполнителем. Труды института. Выпуск 156. Московский орден Ленина, авиационный институт имени Серго Ордженикидзе. - М.: Машиностроение, 1964, 151 с., ил.
4. Панин В.Ф. Конструкции с наполнителем: Справочник / В.Ф. Панин, Ю.А. Гладков. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.: ил.
5. Берсудский В.Е. Технология изготовления авиационных конструкций. В.Е. Берсудский, В.Н. Крысин, С.И. Лесны. - М.: Машиностроение, 1975, 296 с.
6. Немировский Ю.В. Прочность элементов конструкций из композитных материалов. Ю.В. Немировский, Б.С.Резников - Новосибирск: Наука, 1986, 165 с.
7. Смовзюк Л.В. Конструктивно-технологические решения восстановления несущей способности поврежденных панелей обшивки самолета путем приформовки композитной накладки: дис...канд.. техн.. наук. 05.07.02– проектирование, изготовление и испытание летательных аппаратов / Лина Владимировна Смовзюк ; Нац. аэрокосмический ун–т им. Н.Е. Жуковского "ХАИ". – Х., 2010. – 146 с.
8. Бохоева Л.А. Особенности расчёта на прочность элементов конструкций из изотропных и композиционных материалов с допустимыми дефектами. Л.А. Бохоева: Монография, - Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2007. -192 с.

**Рецензент:** д.т.н., профессор, Б.В. Лупкин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Поступила в редакцию 03.03.12

## **Оценка несущих свойств панельных сотовых конструкций с учетом эксплуатации**

В работе на основе результатов длительной эксплуатации предложена конечно-элементная модель интерцептора сотовой конструкции, которая позволяет оценить несущие свойства интерцептора при наличии дефекта типа отслоения.

**Ключевые слова:** отслоение, сотовая конструкция, несущее свойство, напряженно-деформированное состояние, конечно-элементная модель, интерцептор.

## **The evaluation of bearing properties of the panel honeycomb structure with incorporation of operation**

In this paper on the basis of the results of long-term use of finite-element model of the interceptor honeycomb structure is proposed, which allows us to estimate a bearing properties interceptor in the presence of defects delamination.

**Keywords:** delamination, honeycomb, bearing property, stress-strain state, finite-element model, interceptor.