УДК 629.7.083

***КАРПІНОС Б.С.***, *доктор технічних наук, професор*
***ЛОБУНЬКО О.П.***, *кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*
***ГРЕНЬ В.М.***, *старший науковий співробітник*
***КОРОВІН О.В.***, *заступник начальника цеху ДП "ЛРЗ"Мотор"*

# КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ СТАНІВ ПАЛИВНОГО КОЛЕКТОРУ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА

*У статті приведені результати комп'ютерного моделювання стану паливного колектора основної камери згоряння авіаційного двигуна з метою аналізу параметрів його пружної системи при появі експлуатаційних пошкоджень*

*Ключові слова: основна камера згоряння, паливний колектор, форсунка*

**Вступ.** Відомі випадки погіршення або припинення функціонування різних вузлів та деталей авіаційних силових установок. Неодноразово спостерігались механічні пошкодження лопаток компресора, прогари, обгоряння елементів конструкції двигуна, тріщини робочих та соплових лопаток турбіни, руйнування деталей та ущільнень опор, пошкодження деталей основної камери згоряння (ОКЗ).

До характерних пошкоджень деталей ОКЗ слід віднести: прогар форсунок, дифузора, змішувача; тріщини на жаровій трубі та її змішувачі, на деталях паливного колектора (ПК), відрив "пелюстків" на внутрішній секції змішувача жарової труби, руйнування трубопроводів підводу палива та трубопроводів обох контурів ПК ОКЗ авіаційного двигуна. Найбільш небезпечними є руйнування деталей ПК (рис.1). Поява тріщин в колекторі може мати катастрофічні наслідки. Причин появи тріщин декілька – це технологічні відхилення виробництва колекторів, неякісність матеріалів, нештатні режими експлуатації і т.д.

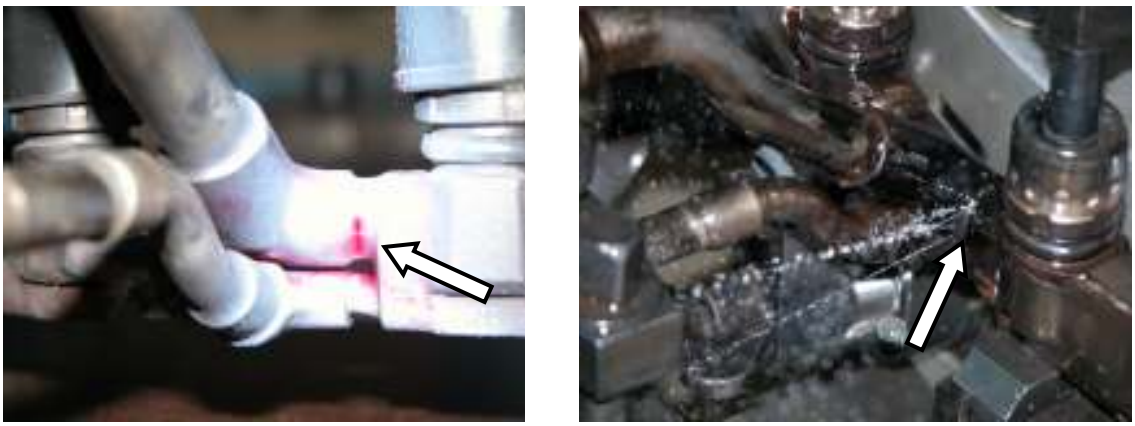


Рис. 1. Тріщина та свищ на ПК в районі трубопроводів підводу палива

© Карпінос Б.С., Лобунько О.П., Грень В.М., Коровін О.В., 2013

ПК ОКЗ авіаційного двигуна представляє собою складну просторову збірно-зварювальну конструкцію, яка піддається інтенсивним навантаженням та виникненням механічних циклічних напружень різних амплітуд та частот від розноманітних джерел. У тому числі термічних напружень від зовнішнього та внутрішнього теплообміну з повітрям підвищеної температури, яке надходить із-за останнього ступеня компресора, і одночасно від хімічної дії продуктів згоряння.

**Методика та результати дослідження.** Для з'ясування основних причин і механізмів появи тріщин і відпрацювання рекомендацій щодо їх запобігання, пропонується метод використання сучасного комп'ютерного моделювання у 3D постановці. З цією метою виконано розрахунки та аналіз вільних коливань ПК, як одного з етапів комплексного дослідження його напруженого і граничного стану.

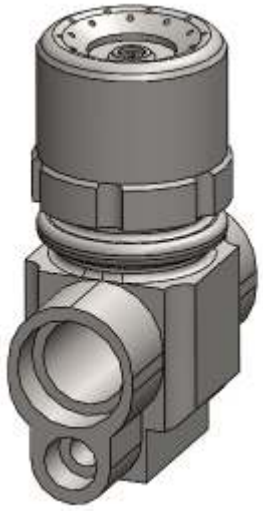


Рис. 2. Модель форсунки

Об'єкт досліджень розроблявся і створювався багато років тому, мав декілька доробок і модернізацій [1, 2]. Його напружений стан визначався на основі відомих у той час залежностей опору матеріалу без адекватного урахування технологічних та експлуатаційних чинників. Сучасні програми [3, 4] розв'язання задач математичної фізики, зокрема задач пружності коливань, тепло і масопереносу течії рідини, дозволяють одержувати достовірні результати у випадках сталих та несталих умов роботи конструкції. Для створення твердотільної віртуальної моделі ПК обраний CAD-пакет 3D моделювання. Процес побудови 3D моделі ґрунтується на створенні об'ємних часткових моделей (блоків) геометричних елементів (форсунки (рис. 2), трубопроводів 1 та 2 контуру) і виконання різних комбінацій між ними.

Модель формується із стандартних елементів (блоків) і корегується шляхом додавання (видалення) цих елементів, або шляхом зміни характерних параметрів блоків. 3D модель несе в собі максимально вичерпний опис фізичних властивостей об'єкта досліджень (об'єм, маса, моменти інерції) і дозволяє максимально наблизити комп'ютерну модель до вигляду реального виробу, виключаючи етап макетування. На рис. 3 зображено відповідно фотографію ПК та його комп'ютерну модель (рис. 4).

Рис. 3. Паливний колектор двигуна

Рис. 4. Модель паливного колектора двигуна

Побудовано декілька варіантів розрахункових силових схем ПК, від найпростішої (у вигляді з'єднаних двох торів) до повномасштабної (рис. 4), відповідно до вимог конструкторської і технологічної документації. Побудова розрахункової сітки здійснювалась на основі аналізу кривизни автоматично. Навколо концентраторів напружень і дефектів за рахунок зменшення розмірів кінцевих елементів досягалось згущення сітки.

Досліджено закономірності впливу умов закріплення ПК на значення частот (а саме: жорсткого чи шарнірного), кількості поверхонь закріплень. Проведено аналіз частот вільних коливань ПК за умов його кріплення на ОКЗ: трубки підводу палива жорстко закріплені, тороїдальна частина колектора має п'ять шарнірних закріплень. На відміну від розглянутого елемента ПК, у якому частота вільних коливань ($f$) від першої до пятої форми може змінюватись відповідно від $f_{1(0)}$ = 2251,5 Гц до $f_{5(0)}$ = 12611 Гц, тобто майже в шість разів. Для колектора в цілому зміна частот відбувається менш інтенсивно, а саме: $f_{1(0)}$ = 249,35 Гц до $f_{5(0)}$ = 477,26 Гц, усього майже в два рази (рис. 5).

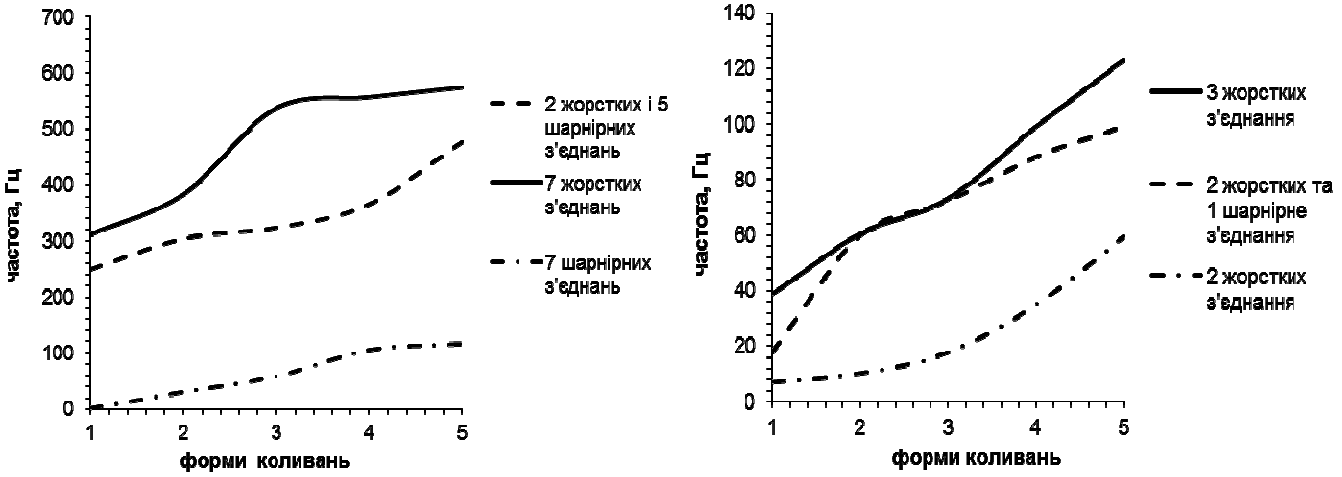


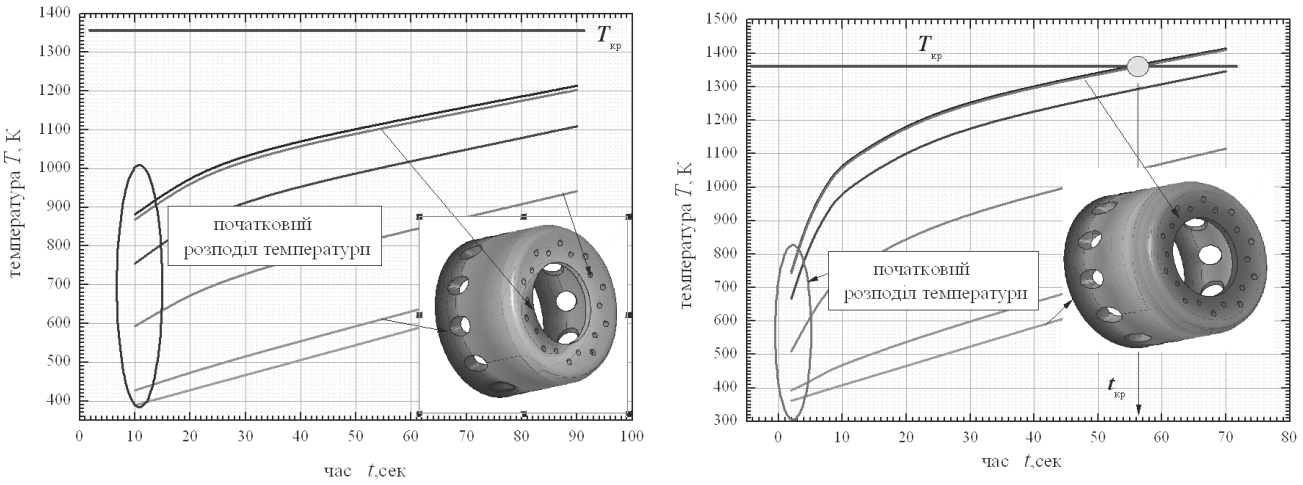

Рис. 5. Залежність частоти власних коливань ПК від форми коливань при різних умовах закріплення

Цей діапазон характерний для вимушених вібраційних навантажень при роботі двигуна, тому існує можливість виникнення резонансних явищ з відповідними наслідками. За час наробітку двигуна під впливом експлуатаційних факторів можливі різноманітні випадки зміни умов закріплень ПК: виробіток або заклинювання шарнірних з`єднань, температурне деформування корпусних деталей та ін. Зміна умов фіксації ПК впливає на жорсткість конструкції. Для розглянутих варіантів діапазон змінення частот залишається в інтервалі частот вимушених вібраційних навантажень двигуна і, таким чином, залишається небезпека резонансних явищ.

За результатами досліджень якісно і кількісно з'ясовано закономірність впливу умов закріплення ПК на частоту його вільних коливань та можливості вичерпання можливості циклічного деформування матеріалу і, як наслідок, появи дефекту у вигляді поверхневої тріщини на трубці другого контуру біля форсунки.

Проведено моделювання нагріву кожуха форсунки на нештатних режимах її

експлуатації та неякісної роботи за двома варіантами. Перший, коли розпил форсунки перетворюється в локальний струмінь (рис. 6 а), другий, коли струмінь повністю торкається корпуса форсунки (рис. 6 б).




*а*) *б*)

Рис. 6. Змінення у часі теплового стану кожуха форсунки

Якщо в першому випадку час до досягнення температури матеріалу T=1373 K форсунки становить декілька хвилин, то у другому випадку цей час становить всього одну хвилину.

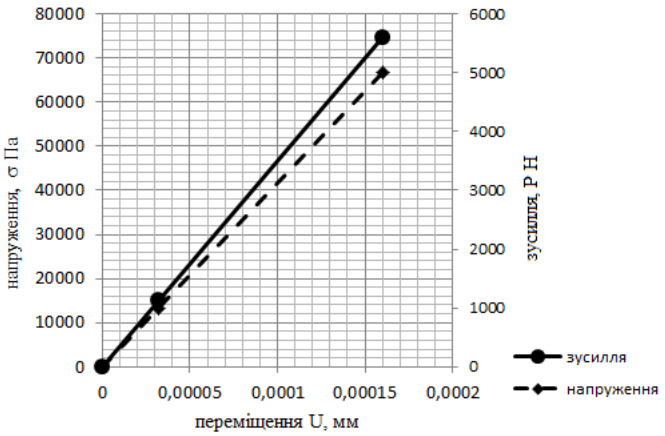



Рис.7. Залежність переміщення (амплітуди коливань) від зусилля і діючих напружень

Параметри коливань авіаційної конструкції (частота, декремент затухання, тощо) пов’язані з характеристиками її міцності, зокрема вони змінюються при появі та розвитку пошкоджень (рис. 7). Якщо в процесі експлуатації стежити за тенденцією зміни значень цих параметрів та їх діагностичних ознак, можливо виявляти зародження тріщин на ранній стадії і, тим самим запобігати руйнуванню елементів конструкцій у польоті.

Загальний алгоритм розрахункової оцінки та прогнозування граничного стану елементів конструкції ПК включає наступні етапи: підготовка вихідних даних і виконання розрахунку, аналіз та обробка результатів, прогнозування граничного стану елементів конструкції (рис. 8).

**Висновки**

На основі результатів чисельного моделювання визначені величини частот власних коливань ПК від першої до п’ятої форми при згинанні і крученні. З`ясовано, що деякі значення знаходяться в діапазоні вимушених частот двигуна, що може скласти загрозу виникнення небезпечних резонансних явищ.

Проаналізовано розташування місць максимальних і мінімальних амплітуд коливань.

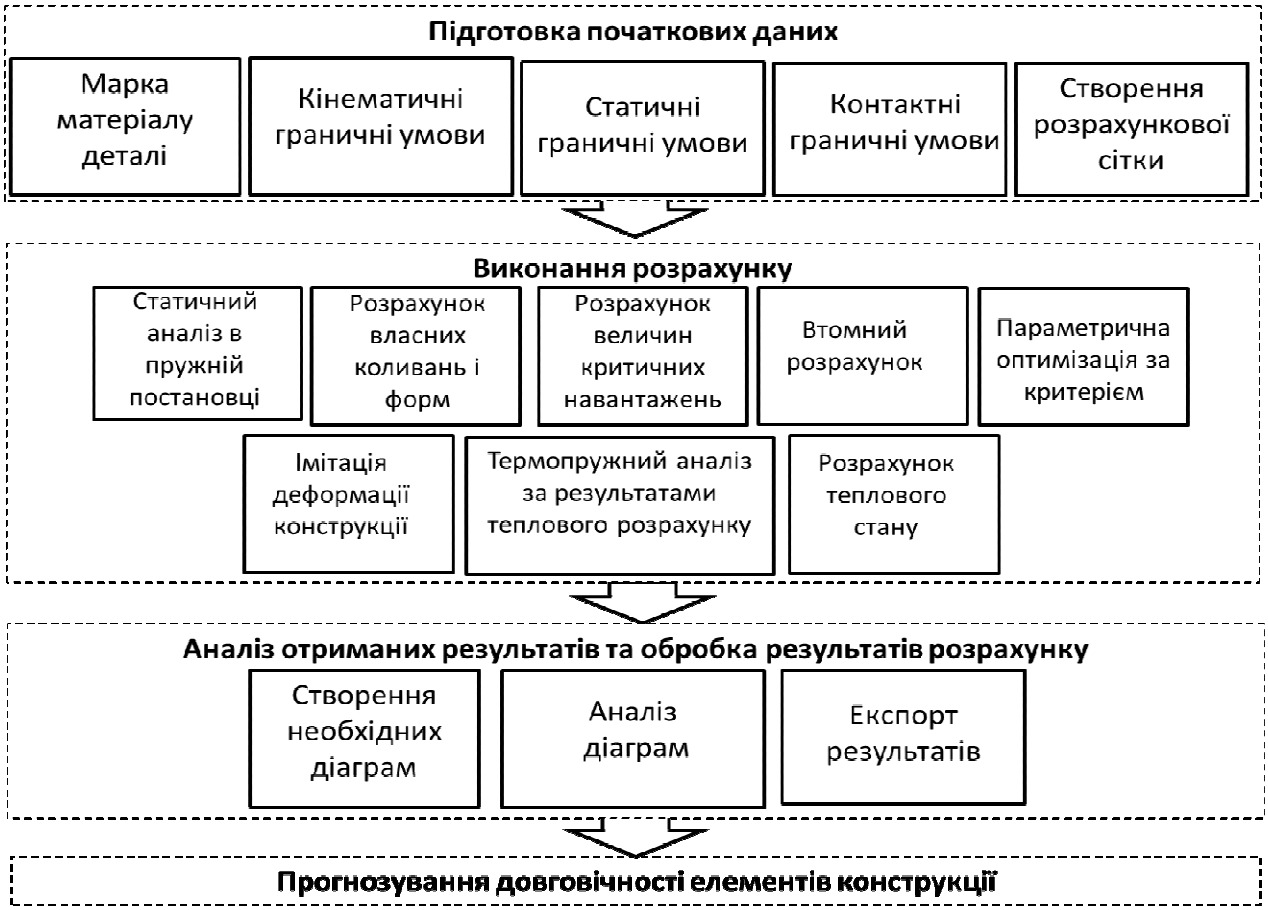



Рис.8. Алгоритм розрахункової оцінки та прогнозування довговічності конструктивних елементів ОКЗ АД

З'ясовано вплив конструктивних особливостей ПК на частоти його власних коливань. Встановлено, що появу тріщин на окремих ділянках ПК можна пояснити декількома причинами:

локальними перевищеннями напружень межі втоми матеріалу;

порушення технології виготовлення (ремонту);

технологічними дефектами використаних матеріалів, деталей;

експлуатаційними дефектами.

Результати комп`ютерного моделювання механічного та теплового стану ПК можна використати у процесі виробництва та ремонту для відпрацювання технологічних заходів з метою підвищення надійності авіаційних силових установок.

Зокрема при супроводженні технологічних процесів доопрацювань ПК запропоновано: посилення косинців, трійників у місці підводу палива до колектора, збільшення діаметра трубок першого та другого контуру та його стендових випробувань в умовах АРП.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бюллетень 229600236.25 (88Т-049БД/БР) Обязательная доработка камеры

сгорания под сферическое крепление основного топливного коллектора, 1996.
2. Бюллетень 229500285.05 (88Т-055БД/БР) Введение обязательной замены топливных коллекторов ОКС при ремонте на новый 088263510 с уточнением технологических процессов по ремонту топливных коллекторов, 2005.
3. Дударева Н., Загайко С. SolidWorks 2007 СПб.: БХВ - Петербург, 2008 - 1308 с.
4. Алямовський А.А. SolidWorks Simulation М.: ДМК Прес, 2010 - 464 с.

*Надійшла до редакції 05.10.2013*