

Акімов Д.В.<sup>1</sup>, Клименко Д.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> начальник сектору, канд. техн. наук. Державне підприємство  
«конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля, Дніпро Україна,  
e-mail: [Akimoff2017@gmail.com](mailto:Akimoff2017@gmail.com)

<sup>2</sup> начальник відділу, канд. техн. наук. Державне підприємство  
«конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля, Дніпро Україна,  
e-mail: [Klymenko\\_dv@hotmail.com](mailto:Klymenko_dv@hotmail.com)

## ВІДПРАЦЮВАННЯ МІЦНОСТІ ПАЛИВНОГО ВІДСІКУ ТРЕТЬОГО СТУПЕНЯ РН «ЦИКЛОН-4» НА РЕЖИМИ НАВАНТАЖЕННЯ ВИРОБІВ 5000, 7000 ПІД ЧАС СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ РОЗРАХУНКОВИМ ШЛЯХОМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМ СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОГО АНАЛІЗУ ТА ШЛЯХОМ ПРОВЕДЕННЯ ПОПЕРЕДНІХ СТАТИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ

**Анотація.** Відповідно до вимог норм міцності необхідне проведення відпрацювання міцності паливного відсіку (ПВ) третього ступеня РН «Циклон-4» на режими навантаження, що реалізуються під час проведення стендових випробувань 5000 і 7000. Відпрацювання міцності проводилось як розрахунковим шляхом із використанням програм скінченно-елементного аналізу Femap, MSC.Nastran, так і шляхом проведення попередніх статичних випробувань. Після визначення напружено-деформованого стану ПВ та аналізу отриманих результатів було проведено попередні статичні випробування ПВ на режими навантаження виробів 5000, 7000 під час стендових випробувань з імітацією в лабораторних умовах найважчих випадків навантаження. За результатами розрахунків і експериментального відпрацювання ПВ третього ступеня РН «Циклон-4» було допущено до стендових випробувань 5000 і 7000. Проведені стендові випробування 5000 і 7000 показали позитивні результати, як з погляду міцності конструкції ПВ, так і з погляду виконання цілей і завдань стендових випробувань.

**Ключові слова:** паливний відсік; скінченно-елементна модель; аналіз напружено-деформованого стану, попередні статичні випробування; стендові випробування 5000 і 7000.

**Вступ.** На етапі проектування відповідно до вимог норм міцності [1], такі елементи ракетної техніки, як паливні відсіки, проходять послідовне наземне експериментальне відпрацювання. Пневмогідравлічна система подачі (ПГСП) 3 ступеня



проходить наземні випробування у складі виробів «5000» і «7000». Виріб «5000» призначений для автономного відпрацювання ПГСП (без двигуна), виріб «7000» - для вогневих стендових випробувань рухової установки. Обидва вироби комплектуються ПВ. Для підтвердження міцності було проведено розрахункові роботи та попередні статичні випробування ПВ.

Матеріал і результати досліджень. Для визначення напружено-деформованого стану (НДС) корпусу ПВ була побудована скінченно-елементна модель в програмному комплексі NASTRAN, при цьому була врахована фізична (для матеріалів корпусу) і геометрична нелінійність. Були отримані картини ПДВ і максимальні значення напружень [2]. Проведені розрахунки та отримані коефіцієнти запасів міцності показали, що міцність корпусу ПВ 3-го ступеня для виробів «5000», «7000» достатня.

Під час проведення попередніх статичних випробувань на режими навантаження виробів 5000, 7000 при стендових випробуваннях перевірено:

- циклічну міцність ПВ і отримано підтвердження його циклічної міцності на режими навантаження 5000 і 7000;
- міцність ПВ і отримано підтвердження його міцності для випадку навантаження «робота маршового двигуна 3-го ступеня під час стендових випробувань 7000»;
- міцність ПВ 3-го ступеня й отримано підтвердження його міцності для випадку навантаження «Максимальний внутрішній надлишковий тиск».

За результатами статичних випробувань отримано дані щодо несучої здатності ПВ 3-го ступеня під час навантаження максимальним внутрішнім надлишковим тиском до руйнування. Дані щодо несучої здатності приведено до натурних умов експлуатації ПВ 3-го ступеня й отримано підтвердження його міцності [3], а також результати щодо коефіцієнтів запасу міцності елементів ПВ 3-го ступеня: для порожнини «О» - 1,12, для проміжного днища порожнини «О» - 1,26, для порожнини «Г» - 1,02. Проведено порівняння експериментальних значень коефіцієнтів міцності та їхніх значень, отриманих в результаті розрахунків, відзначено задовільний збіг. Проведено порівняння лінійних переміщень елементів паливного відсіку з розрахунковими значеннями, відзначено задовільний збіг [4].

Результати попередніх статичних випробувань ПВ позитивні. Паливний відсік допущено до стендових випробувань 5000 і 7000.

Після проведення дефектації ПВ були внесені зміни до конструкторської документації (КД) паливного відсіку в частині зміни зварних швів у районі розпірних шпангоутів. За результатами подальшого відпрацювання міцності ПВ на режими



навантаження під час експлуатації ракети-носія (наземна експлуатація, роботи на стартовому столі, політ ракети-носія, вивід третього ступеня на орбіту поховання (пасивація), було підтверджено правильність реалізованих змін у КД паливного відсіку після попередніх статичних випробувань.

Проведені стендові випробування 5000 і 7000 також показали позитивні результати, як з погляду міцності конструкції ПВ (з урахуванням змін у КД), так і з погляду виконання цілей і завдань стендових випробувань.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДКБП. ЦНДІМаш «Норми міцності ракети-носія Циклон-4», 2004
2. Шимкович Д. Г., Розрахунок конструкцій у MSC/NASTRAN for Windows. Москва: ДМК Прес, 2003. 448 с.
3. Ларіонов І. Ф., Клименко Д. В., Акімов Д. В. Експериментальне дослідження напружено-деформованого стану паливного відсіку РКП під час навантаження надлишковим внутрішнім тиском до руйнування. Динаміка, міцність та моделювання в машинобудуванні. Тези доповідей I Міжнародної науково-технічної конференції (Харків, 10-14 вересня 2018). Харків, 2018. С. 38.
4. Лізін В. Т, Пяткін В. А. Проектування тонкостінних конструкцій. Москва: «Машинобудування», 1976. 408 с.

