Тромса О.В.,
Ящук О.П.
Державний університет
«Київський авіаційний інститут»

МЕТОДИКА РАННЬОЇ ДІАГНОСТИКИ КАВІТАЦІЙНОГО ЗНОСУ ГІДРОАГРЕГАТІВ ВАЖКИХ БПЛА МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ШУМІВ

Стрімкий розвиток безпілотної авіації, зокрема апаратів важкого класу MALE та HALE (типу MQ-9 Reaper, Global Hawk, Bayraktar Akıncı), ставить нові вимоги до надійності бортових систем [2]. На відміну від легкої техніки, ці апарати оснащені повноцінними гідравлічними системами високого тиску до 275 атм (4000 psi), які забезпечують роботу шасі, гальмівної системи та механізму зміни кроку гвинта [4].

При експлуатації таких систем виникає проблема гідродинамічної кавітації. Вона з'являється при проходженні робочої рідини через дроселюючи щілини золотників та клапанів при великих перепадах тиску. В гідроприводі небажано допускати виникнення кавітації. Вона пошкоджує агрегати гідравлічної системи, призводить до інтенсивних коливань тиску та до деградації робочої рідини [1]. Як наслідок, це призводить до ерозійного руйнування прецизійних пар та відмови виконавчих механізмів у польоті.

Існуючі штатні системи бортового контролю (HUMS) фіксують проблему вже на етапі значної вібрації, коли дефект став критичним [5]. Метою нашої роботи є розробка методики ранньої діагностики, яка дозволить виявити початок руйнування ще на землі.

Механізм генерування кавітаційних коливань тиску при високонапірному дроселюванні рідини дуже складний. На основі аналізу літературних джерел було визначено домінуючий механізм, який базується на моделі дискретного струменю [1]. Суть моделі полягає в тому, що при високо-напірному витоку рідини через дросельний пристрій в зоні розрідження попередньо суцільний струмінь ділиться парогазовими кавернами на окремі блоки. Потім, в зоні відновлення

суцільності, ці блоки співударяються з потоком загальмованої рідини (так званий снарядний рух рідини), породжуючи пульсації тиску.

Нами було проаналізовано спектральні характеристики шумів типового авіаційного гідроагрегата, спираючись на дослідження автоколивальних процесів [3]. Результати засвідчують наявність чітких маркерів кавітаційного зносу. На спектрограмі виділяються три зони: низькочастотна складова (400-800 Гц), яка є наслідком модуляції плунжерної частоти насоса; середньочастотна зона (1–15 кГц), де фіксуються піки на частотах 4, 8 та 12 кГц, викликані імпульсним гальмуванням дискретних блоків рідини; та високочастотна зона (вище 15 кГц), що виникає внаслідок лавинного колапсу дрібних бульбашок.

Запропонована методика полягає у моніторингу амплітуди сигналів саме на частотах 4, 8 і 12 кГц. Поява піків у цьому діапазоні є раннім сигналом про початок ерозії золотників («снарядний ефект»), навіть якщо загальний рівень вібрації залишається в нормі.

Практична реалізація цього методу на важких БПЛА дозволить перевести обслуговування гідросистем зі стратегії «після відмови» на стратегію «за станом» [5]. Це значно підвищить надійність виконання бойових завдань і зменшить ризик втрати дороговартісного апарата через відмову гідравліки.

Список використаних джерел

1. Тарасенко Т.В, (2024). Механізм генерування кавітаційних коливань тиску при витіканні рідини через дросельний пристрій. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(7), 21-31.

2. Пилипенко В.В. (1989). Кавітаційні автоколивання. К.: Наукова думка.

3. Technical Order 1Q-9(M)A-2-1. (2018). MQ-9 Reaper Maintenance Manual. General Atomics Aeronautical Systems.

4. Семко М.В. (2020). Діагностика гідравлічних систем літальних апаратів. Авіаційно-космічна техніка і технологія, 4, 45-51.