

Кутовий М.С.,
Ящук О.П.
Державний університет
«Київський авіаційний інститут»

ГІДРОДИНАМІЧНА СТАБІЛІЗАЦІЯ БПЛА ПРИ РОБОТІ СИСТЕМИ ІМПУЛЬСНОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕФЕКТУ ДИСКРЕТНОГО СТРУМЕНЯ

Стрімкий розвиток безпілотної авіації, зокрема апаратів використання важких БПЛА для гасіння пожеж у висотних будівлях є одним із найбільш перспективних напрямків розвитку аварійно-рятувальної техніки. Однак ефективність таких систем суттєво обмежується вантажопідйомністю: запас вогнегасної рідини на борту зазвичай не перевищує 50–100 літрів. Традиційні методи подачі води безперервним струменем є неефективними через швидку втрату маси та аерацію струменя. Рішенням проблеми є перехід до імпульсного пожежогасіння (технологія «водяного снаряда»). Проте реалізація цього методу пов'язана з виникненням двох критичних фізичних явищ: кавітаційної нестабільності потоку в соплі та потужної імпульсної віддачі, що дестабілізує БПЛА. Метою роботи є розробка методу гідродинамічної стабілізації БПЛА на основі моделі дискретного струменя [1].

Суть моделі полягає у формуванні окремих "блоків рідини" замість суцільного потоку. Фізика процесу має складний нестаціонарний характер. Течія проходить три стадії: ріст каверни, її відрив та колапс, що генерує потужні пульсації тиску з домінуючими частотами близько 2 кГц [3]. Саме момент колапсу каверн є критичним. Згідно з моделюванням [4] методом SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics), основну руйнівну дію чинять не стільки мікрострумені, скільки ударні хвилі від схлопування бульбашок. Для пожежної гармати це означає, що неконтрольована кавітація всередині ствола зруйнує цілісність "водяного снаряда" ще до вильоту.

Для запобігання внутрішній кавітації та ерозії запропоновано використовувати коноїдальне сопло, яке забезпечує безвідривне обтікання. Головною проблемою для БПЛА є імпульсна віддача.

Враховуючи виявлені [3] закономірності щодо низькочастотних пульсацій тиску при відриві каверн, жорстке кріплення гармати призведе до резонансного розхитування платформи. Запропоновано комбіновану систему стабілізації: гідравлічний демпфер відкату, поглинає пікові ударні навантаження від "пострілу"; Feed-Forward керування, контролер БПЛА отримує сигнал про постріл за 50 мс і превентивно змінює тягу двигунів.

Використання ефекту дискретного струменя [1] дозволяє значно підвищити ефективність пожежних БПЛА. Врахування механізмів кавітаційної нестабільності [3] та ударно-хвильової природи колапсу бульбашок [4] дозволило спроектувати сопловий апарат, що формує компактний далекобійний струмінь без ризику пошкодження обладнання.

Список використаних джерел

1. Тарасенко Т.В. Механізм генерування кавітаційних коливань тиску при витіканні рідини через дросельний пристрій / Т.В. Тарасенко. – Київ, 2019.
2. Magnotti M., Battistoni M., Saha K., Som S. Development and validation of the cavitation-induced erosion risk assessment tool // *Transportation Engineering*. – 2020. – Vol. 2. – 100034.
3. Huang B. Experimental investigation of unsteady attached cavitating flow induced pressure fluctuation // *Journal of Hydrodynamics*. – 2022. – Vol. 34. – P. 31–42.
4. Joshi J.S., Franc P., Ghigliotti G., Fivel M. SPH modelling of a cavitation bubble collapse near an elasto-visco-plastic material // *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. – 2019. – Vol. 125. – P. 420–439.
5. Sembritzki K. Impulse Fire Extinguishing Systems (IFEX): Technology and Application // *Fire Safety Journal*. – 2018. – Vol. 45.