

УДК 629.7.016.7

П.І. Моцарь<sup>1</sup>, І.О. Корчін<sup>2</sup>, В.П. Зінченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ТОВ ООО «НПО «АВІА», Харків

<sup>2</sup>Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗСУ, Київ

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ІМІТАТОРІВ АКСЕЛЕРАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ В АВІАЦІЙНИХ ТРЕНАЖЕРАХ

*На підставі аналізу основних характеристик гідравлічних та електромеханічних систем рухливості, з метою поліпшення їх характеристик та точності відтворення вібрації, пропонується застосування роздільної смуги частоти сигналів руху. Розділення частотної смуги на дві частини дозволяє у більш широкому діапазоні відтворювати вібрації реального літального апарата.*

*імітатор, акселераційний ефект, авіаційний тренажер*

### Вступ

У сучасних умовах, при постійному зростанні вартості літальних апаратів і витрат на їх технічну експлуатацію, все більш широке застосування в повсякденній діяльності стройових частин і центрів бойового застосування військової авіації знаходять авіаційні тренажери. Їх використання дозволяє скоротити витрати і зберегти ресурс авіатехніки; підвищити безпеку польотів за рахунок відпрацювання готовності льотчиків до дій в особливих випадках польоту і нештатних ситуаціях; підняти бойову ефективність за рахунок підвищення кваліфікації льотного складу і попереднього багатократного моделювання бойових операцій; підсилити контроль за дисципліною польотів.

На думку авіаційних експертів, сучасні тренажери дозволяють з високою точністю моделювати умови польоту, відпрацьовувати навички пілотування, літаководіння, бойового застосування зброї. З їх допомогою можна цілеспрямовано імітувати різноманітні умови польоту, які не завжди можна або навіть небезпечно створювати під час реального тренувального польоту.

Сучасні тренажери – це складні комплекси, системи моделювання і симуляції, комп'ютерні програми, математичні і фізичні моделі, спеціальні методи-

ки, що створюються для того, щоб підготувати льотчика до ухвалення своєчасних і швидких рішень. У сумі вони створюють адекватну картину польоту: зір – система візуалізація і приладові панелі, кінестетичеській канал – система завантаження важелів управління, слух – імітатори авіаційних шумів, вестибулярний апарат – система рухливості [1].

У даній статті аналізується застосування однієї з важливих складових авіаційного пілотажного тренажера – системи імітації акселераційних ефектів, або, як її ще називають, системи рухливості.

При виконанні реального польоту пілоти використовують безперервні інформаційні сигнали для оцінки і регулювання стану літального апарата. У взаємодії з приладами і зовнішньою візуальною інформацією істотну роль відіграє зворотний зв'язок системи рухливості, допомагаючи пілоту управляти динамікою літального апарата, зокрема, при наявності зовнішніх дій. Система рухливості повинна відповідати основним об'єктивним експлуатаційним критеріям і створювати у відчуттях льотчика уявлення лінійних і кутових прискорень літального апарата під час виконання маневрів, режимів польоту і пересування по землі [2].

Під час досліджень у галузі авіаційної медицини була виявлена особливість вестибулярного апарата людини: при зовнішніх обуреннях сприйма-

ються перш за все перехідні процеси лінійних і кутових швидкостей.

З метою створення адекватного сприйняття на тренажері імітованих прискорень реальним, фронти перехідних процесів відтворюються в масштабі 1:1 до моментів, відповідних межі чутливості, тобто насичення вестибулярного апарата людини. Льотчик, що виконує динамічні операції в рухомій кабіні, одержує від фронту прискорення всі первинні відчуття руху, які необхідні для адекватного сприйняття реальних і імітованих умов.

Після відтворення реального фронту прискорення платформа гальмується, причому спад фронту гальмування проходить нижче за поріг чутливості вестибулярного апарата льотчика [3], інакше у нього можуть виникнути помилкові відчуття. При цьому, виходячи з граничних величин руху рухомої платформи по лінійних і кутових переміщенням, вона переводиться в нейтральне положення з швидкостями і прискореннями, невідчутними для вестибулярного апарата льотчика.

У вимогах до тренажерів [4] вказано, що найвищий рівень функціональних можливостей тренажера – це рівень D. Тренажер повинен разом з системою візуалізації і системою імітації акустичних шумів точно імітувати також вібрації і трясіння, що утворюються при русі і у польоті літального апарату.

Система імітації акселераційних ефектів призначена для відтворення діючих на льотчика акселераційних відчуттів (перевантажень, кутових прискорень і кутових швидкостей) за трьома або шістьма ступенями свободи, близькими до тих, які виникають у реальному польоті.

Кабіна тренажера встановлюється на спеціальну рухому платформу, що керується цифровим обчислювальним комплексом. В експлуатації авіаційних тренажерів застосовуються як гідравлічні, так і електричні рухомі платформи.

Система рухливості імітує ефекти рухів літального апарата в штатних і особливих випадках польоту, зафіксованих в експлуатаційних умовах і в льотних випробуваннях.

Система рухливості забезпечує:

- постійний ненапрявлений «фоновий» рух кабіни в процесі всього польоту;
- кутові і лінійні прискорення та переміщення за шістьма ступенями свободи при страгиванні, гальмуванні і русі по землі;
- кутові і лінійні прискорення та переміщення за шістьма ступенями свободи, що характерні для всіх режимів польоту в різних польотних конфігураціях літального апарата;
- ефекти зовнішніх дій;
- трясіння при рулюванні по злітно-посадочній смузі;
- підйом-опускання вантажу на зовнішній підвісі (для вертольотів);

– поштовхи від торкання поверхні злітно-посадочної смуги при зльоті і посадці;

– ефекти трясіння при досяганні критичних кутів атаки (для літаків);

– ефекти бафтіну при перевищенні обмежень за швидкістю (для літаків).

У системах рухливості час непогодження між різними системами відображення інформації (приладової, візуальної, акселераційної, акустичної, пропріорецептивної та ін.) забезпечується не більше 150 мілісекунд.

Основні характеристики вживаних гідравлічних систем рухливості вказані в табл. 1.

Таблиця 1

Основні характеристики вживаних гідравлічних систем рухливості

Найменування параметра	Величина параметра
Максимальне корисне навантаження (оснащена кабіна з системою візуалізації)	до 4500 кг
Максимальні лінійні переміщення кабіни	2 м і більш
Максимальні кутові переміщення	$\pm 26^\circ$ і більш
Максимальні перевантаження	$\pm 0,7 g$
Максимальні лінійні прискорення	$\pm 0,8$ м/с
Максимальні кутові прискорення	$\pm 250$ °/с <sup>2</sup>
Потужність електроживлення маслонасосної станції	не більше 15 кВт, 220 В 3-фазного струму

Гідравлічна система рухливості складається з:

- гідроприводів з гідростатичними опорами на поршні і штоку, що забезпечує мінімізацію тертя;
- гідравлічних демпферів для пом'якшення виходу штока на упор;
- маслонасосної станції з водяним охолодженням і дистанційним керуванням;
- гібридної аналогово-цифрової системи управління і контролю роботи механізму.

Основні характеристики вживаних електромеханічних систем рухливості вказані в табл. 2.

Таблиця 2

Основні характеристики вживаних електромеханічних систем рухливості

Найменування параметра	Величина параметра
Максимальне корисне навантаження (оснащена кабіна з системою візуалізації)	5000 кг і більш
Максимальні лінійні переміщення кабіни	1 м і більш
Максимальні кутові переміщення	$\pm 26^\circ$ і більш
Максимальні перевантаження	$\pm 0,8 g$
Максимальні лінійні прискорення	$\pm 0,76$ м/с
Максимальні кутові прискорення	$\pm 250$ °/с <sup>2</sup>
Потужність електроживлення маслонасосної станції	не більше 15 кВт, 220 В 3-фазного струму

Електромеханічна система рухливості складається з електроприводів, центрального комп'ютера, комп'ютера, що керує, цифрового керуючого пристрою (цифровий контроллер), контролера зворотного зв'язку, системи контролю безпеки роботи механізмів.

При проведенні порівняльного аналізу основних параметрів двох видів систем рухливості видно, що електромеханічні системи привабливіші для розробників тренажерів, ніж гідравлічні. На користь електричних систем можна віднести меншу пожегобезпечність – відсутність вогнебезпечних гідродидин під великим тиском і побутове менш навантажене електроживлення. Проте вартість гідравлічних систем менша, ніж вартість електромеханічних.

Для такого літального апарата, як вертоліт, характерна одна дуже важлива особливість – підвищений рівень вібрацій.

Зворотний зв'язок при переміщенні вертольота має широку смугу частот та амплітуд і формується з багатообразних сигналів та від значного довготривалого прискорення до високочастотних вібрацій, що викликані гармоніками несучого гвинта. Вібрації вертольотів, крім того, що створюють неприємні умови роботи, приводять до впливу на пілотів динамічним зворотним зв'язком несучого гвинта, який може виявитися критичним щодо спроможності керувати вертольотом. Таким чином, пілоти сприймають нормальні і нештатні умови польоту через рівень амплітуди вібрації, що супроводжує політ вертольота. Умови роботи несучого гвинта, наприклад при обмерзанні або механічному пошкодженні, швидко розпізнаються пілотом суб'єктивно за змінами рівня вібрацій і робочих характеристик.

Для підвищення ефективності навчання пілота тренажер повинен відтворювати з високою точністю реальні рівні вібрації, які діють на пілота. Вібрації, у разі їх точного моделювання і в поєднанні з сигналами системи візуалізації та акустичної системи, гарантують вироблення пілотом необхідної стратегії управління польотом при сприйнятті типових робочих навантажень.

Три характеристики коливань повинні бути точно відтвореними для забезпечення автентичних умов польоту і моделювання типових вібрацій повітряного судна, що діють на пілотів: динаміка, осі і рівні вібрацій. Наприклад, зміна характеру вібрації інформує пілота про те, що вертоліт перейшов у перехідну стадію між висінням і горизонтальним польотом з малою швидкістю. Коливання вертольота багатовимірні, тобто вони сприймаються такими, що виявляються одночасно з декількома ступенями свободи. Моделювання комбінації вібрацій по осями X, Y і Z є істотним при навчанні пілотів. Точне відтворення рівнів вібрацій надає суб'єктивну інформацію щодо навантажень, які виникають при виконанні вертольотом певних маневрів.

Звичайна система рухливості з шістьма ступенями свободи має обмежені можливості моделювання вібрації вертольота. Динамічний діапазон ам-

плітуд вібрації вертольота і їх частотний діапазон: звичайно 0 ... 10 Гц уздовж вертикальної осі, і ще менше уздовж подовжньої та бічної осей. Більшість систем рухливості, які здатні відтворювати вібрації, перевищують обмежені можливості щодо ширини смуги частот системи рухливості (як правило 3, ... 50 Гц).

Крім того, дія типових для вертольота вібрацій на всю конструкцію тренажера може несприятливо вплинути на ресурс компонентів тренажера, наприклад, на систему візуалізації.

Для поліпшення з шістьма ступенями свободи і забезпечення точного відтворення вібрації при одночасному зменшенні зусиль, що діють на конструкцію тренажера, розробники систем рухливості пропонують розділити на дві частини смугу частот сигналів руху. Тоді призначення кожній з таких спеціалізованих систем полягатиме у відтворенні сигналів певного частотного діапазону. Нижній діапазон частот буде призначатися для управління системою рухомою, а верхній (з більшою частиною інформативності щодо виникаючих вібрацій) – для управління рухом вібраційної платформи.

Моделювання вібрацій здійснюється двома способами:

1. Вібраційна платформа з трьома ступенями свободи встановлюється під кабіною. Ця система об'єднує широку смугу частот, незалежні осі приводу (щоб уникнути перехресних зв'язків) і значну жорсткість.

2. Вібраційна платформа з трьома ступенями свободи, в якій вібрація крісел льотчиків, органів управління і центральної панелі приладів відбувається незалежно від кабіни. Таке рішення забезпечує зменшення рухомої маси щодо корисного навантаження і таким чином зведе до мінімуму ризик виникнення резонансних явищ [5].

Широке застосування пілотажних тренажерів у практиці підготовки льотного складу допоможе оцінити достоїнства і недоліки вживаних у конструкції тренажерів систем рухливості.

## Список літератури

1. ДСТУ 3155-95. Тренажери та моделювальні комплекси авіаційні. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 18 с.
2. Критерии для оценки летных тренажеров. Doc 9625-AN/938. – ИКАО, 2003. – 28 с.
3. Медведев В.И. Устойчивость физиологических и психологических функций человека при действии экстремальных факторов. – М.: Наука, 1982. – 104 с.
4. Спільні авіаційні вимоги. JAR-STD 1Н. Пілотажні тренажери вертольота. – JAA, 2001. – 116 с.
5. Тренажерные системы / В.Е. Шукинунов, Ю.А. Бакулов и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 256 с.

Надійшла до редколегії 30.10.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, ст. наук співр. О.Б. Леонт'єв, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.