

УДК 629.735.45

В.П. Зінченко

Наукове-виробниче об'єднання «АВІА», Кременчук

## ПРО ЗАСТОСУВАННЯ ІМІТАТОРІВ АКСЕЛERAЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ В АВІАЦІЙНИХ ТРЕНАЖЕРАХ

*Наведені результати досліджень та розробки комплексного тренажера для льотного складу Збройних Сил України, аналізується застосування у авіаційному пілотажному тренажері системи імітації акселераційних ефектів.*

**Ключові слова:** імітатор акселераційних ефектів, авіаційні тренажери, система рухливості.

### Вступ

**Аналіз проблеми.** У сучасних умовах при постійному зростанні вартості літальних апаратів і витрат на їх технічну експлуатацію все ширше застосування в повсякденній діяльності стройових частин і центрів бойового застосування військової авіації знаходять . 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 багатозорового моделювання бойових операцій, підси-

лити контроль за дисципліною польотів. Сучасні тренажери дозволяють з високою точністю моделювати умови польоту, відпрацьовувати навички пілотування, літаководіння, бойового застосування зброї. За 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 методики, що створюються для того, щоб підготувати льотчика до прийняття своєчасних і швидких рішень. У сумі вони створюють адекватну картину польоту: зір – система візуалізація і приладові пане-

лі, імітатори авіаційних шумів, вестибулярний апарат – система рухливості [1].

**Мета статті.** У даній статті аналізується застосування однієї із важливих складових авіаційного пілотажного тренажера — системи імітації акселераційних ефектів, або, як її ще називають, системи рухливості.

### Основний матеріал

При виконанні реального польоту пілоти використовують безперервні інформаційні сигнали для оцінки і регулювання стану літального апарату. І тут істотну роль відіграє зворотний зв'язок системи рухливості, допомагаючи пілоту управляти динамікою літального апарату, зокрема при наявності зовнішніх впливів. Система рухливості повинна відповідати основним об'єктивним експлуатаційним критеріям й імітувати у льотчика відчуття лінійних і кутових прискорень літального апарату під час виконання маневрів, режимів польоту і пересування по землі [2].

Дослідженнями у сфері авіаційної медицини доведена особливість вестибулярного апарату людини при зовнішніх збудженнях сприймати перш за все перехідні процеси лінійних і кутових швидкостей.

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

Після відтворення реального фронту прискорення платформа гальмується, причому спад фронту гальмування проходить повільніше за поріг чутливості вестибулярного апарату 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 апарату 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 тряску, що утворюються при русі по землі і у польоті.

Система імітації акселераційних ефектів призначена для відтворення діючих на льотчика акселераційних відчуттів (перевантажень, кутових прискорень і кутових швидкостей) по трьох або шести степенях свободи, близьких до тих, які виникають в реальному польоті.

Кабіна тренажера встановлюється на спеціальну рухому платформу, що керується цифровим об-

числювальним комплексом. У конструкціях авіаційних тренажерів застосовуються як гідравлічні, так і електричні рухомі платформи.

Система рухомості імітує ефекти рухів літального апарату в штатних і особливих випадках польоту, зафіксованих в експлуатаційних умовах і при льотних випробуваннях.

Система рухомості забезпечує:

- постійний неспрямований «фоновий» рух кабіни в процесі всього польоту;
- кутові і лінійні прискорення і переміщення по шести степенях свободи при початку руху, гальмуванні і русі по землі;
- кутові і лінійні прискорення і переміщення по шести степенях вільності, що характерні для всіх режимів польоту в різних польотних конфігураціях літального апарату;
- ефекти зовнішніх впливів;
- тряска при рулінні по злітно-посадочній смузі;
- підйом й опускання вантажу на зовнішній підвісі (для вертольотів);
- поштовхи від торкання поверхні злітно-посадочної смуги при зльоті і посадці;
- ефекти тряски при досягненні критичних кутів атаки (для літаків).

У системах рухливості час розузгодження між різними системами відображення інформації (приладовою, візуальною, акселераційною, акустичною, пропріорцептивною тощо) забезпечується на рівні не більше 150 мілі секунд.

Основні характеристики гідравлічних систем рухливості, що застосовуються сьогодні надані в табл. 1.

Таблиця 1  
Основні характеристики застосованих гідравлічних систем

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

Гідравлічна система рухливості має такі складові:

- гідроприводи з гідростатичними опорами на поршні і штоку, що забезпечують мінімізацію тертя;
- гідравлічні демпфери для пом'якшення виходу штока на упор;

– маслорасосна станція з водним охолодженням і дистанційним керуванням;

– гібридна аналогово-цифрова система управління і контролю роботи механізму.

Основні характеристики електромеханічних систем рухливості наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Основні характеристики електромеханічних систем рухливості

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

Електромеханічна систем рухливості складається з таких пристроїв:

- електроприводів;
- центрального комп'ютера;
- керуючого комп'ютера;
- цифрового керуючого пристрою (цифровий контролер);
- 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. Важливим фактором є відсутність вогнебезпечних гідродієнів під великим тиском і менш навантажене електроживлення. Проте вартість гідравлічних систем менша, ніж вартість електромеханічних.

Порівняння з діючими закордонними зразками свідчить про деякі переваги запропонованої системи. Так, наприклад, електромеханічна система рухливості E-Cue 624-2800 фірми MOOG FCS (Нідерланди) має 6 ступенів свободи, максимальне навантаження 2500 кг. Вона інтегрального типу з електричним приводом. Для такого літального апарата, як вертоліт, характерною є така важлива особливість, як підвищений рівень вібрацій.

Зворотний зв'язок при переміщенні вертольота має широку смугу частот і амплітуд і формується з різноманітних сигналів: 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 динамічного зворотного зв'язку несучого гвинта, який може виявитися критичним для 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 вібрації і робочих характеристик.

Для підвищення ефективності навчання пілотажний 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 і акустичної системи, гарантують вироблення пілотом необхідної стратегії управління польотом при сприйнятті типових робочих навантажень.

Три характеристики коливань повинні бути точно відтворені для забезпечення автентичних умов польоту і моделювання типових вібрацій повітряного судна, що діють на пілота: динаміка, осі і рівні вібрацій. Наприклад, зміна характеру вібрації інформує пілота про те, що вертоліт перейшов в перехідну стадію між висінням і горизонтальним польотом з малою швидкістю. Коливання вертольота багатовимірні, тобто вони сприймаються такими, що діють одночасно з декількома степенями вільності. Моделювання комбінації вібрацій по осях X, Y і Z є істотним при навчанні пілотів. Точне відтворення рівнів вібрацій надає суб'єктивну інформацію про навантаження, що виникають при виконанні вертольотом певних маневрів обмежені можливості моделювання вібрації вертольота. Динамічний діапазон амплітуд вібрації вертольота і їх частотний діапазон (звичайно 0...10 Гц уздовж вертикальної і ще менше уздовж подовжньої і 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 характеристик системи рухливості з шістьма степенями вільності 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 кожної з таких спеціалізованих систем полягатиме у відтворенні сигналів певного частотного діапазону. Нижній діапазон частот буде призначатися для управління системою рухомості, а верхній (з більшою частиною інформативності щодо виникаючих вібрацій) – для управління рухом вібраційної платформи. Моделювання вібрацій здійснюється двома способами:

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

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

### ВИСНОВКИ

Широке застосування пілотажних тренажерів в практиці підготовки льотного складу допоможе оцінити позитивні сторони і недоліки систем рухливості, що застосовуються в конструкції тренажерів.

### О ПРИМЕНЕНИИ ИМИТАТОРОВ АКСЕРАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В АВИАЦИОННЫХ ТРЕНАЖЕРАХ

В.П. Зинченко

*Приведены результаты исследований и разработки комплексного тренажера для летного состава Вооруженных Сил Украины, анализируется применение в авиационном пилотажном тренажере системы имитации акселерационных эффектов.*

**Ключевые слова:** имитатор акселерационных эффектов, авиационные тренажеры, система подвижности.

### ABOUT APPLICATION OF IMITATORS OF AKSELERACIONNYKH OF EFFECTS IN AVIATION TRAINERS

V.P. Zinchenko

*The results of researches and development of complex trainer are resulted for flying composition of Military Powers of Ukraine, application in the aviation pilotage trainer of the system of imitation of акселерационных effects is analysed.*

**Keywords:** imitator of acceleration effects, aviation trainers, system of mobility.

### 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-AN938. – 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 1H. Пілотажні тренажери вертольота. – JAA, 2001. – 116 с.
5. Тренажерные системы / В.Е. Шукиинов, Ю.А. Бакулов, В.Н. Григоренко и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 256 с.

Надійшла до редколегії 14.06.2011

**Рецензент:** канд. техн. наук, проф. Ю.І. Миргород, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.