

УДК 623.592:629.7.06

Д.Г. Васильєв, М.К. Петерін, С.В. Ратушний

Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України, Феодосія

## ПІДХОДИ ДО ОБ'ЄКТИВНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВИКОНАННЯ ПОЛЬОТНОГО ЗАВДАННЯ ЛЬОТЧИКОМ НА АВІАЦІЙНОМУ ТРЕНАЖЕРІ

Запропоновано підходи до об'єктивної оцінки якості виконання польотного завдання льотчиком на авіаційному тренажері. Визначено завдання щодо проведення об'єктивної кількісної оцінки процесу тренування, критерії, які характеризують якість виконання вправ (елементів вправ) льотчиком на тренажері, запропоновано аналітичні вирази для їх обчислення.

**Ключові слова:** авіаційний тренажер, льотчик, літальний апарат, об'єктивний контроль, об'єктивна оцінка, критерій, параметр.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Практика експлуатації авіаційної техніки показує, що причиною більшості (близько 80%) авіаційних пригод є “людський фактор”, та ця тенденція зберігається й в теперішній час. А суттєве ускладнення авіаційної техніки, масова заміна існуючого застарілого парку літальних апаратів (ЛА) на нові сучасні моделі, значне подорожчання в останні 10 – 15 років процесу навчання в реальному польоті в результаті збільшення вартості палива тільки усугубило цю ситуацію. Змінити цю тенденцію до кращого можливо у результаті тренувань льотного складу на авіаційних тренажерах (АТ) та відпрацювання їх дій у складі екіпажу в наземних умовах. Саме цей напрямок економічно суттєво більш корисний, чим підготовка льотного складу тільки в реальному польоті, та той, що забезпечує потрібний рівень безпеки польотів, і отримав самий широкий розвиток в державах Європи та США.

Сучасні АТ дозволяють відпрацьовувати значну частину вправ по пілотуванню, літаководінню та бойовому застосуванню ЛА. Проте АТ ще не забезпечують високої ефективності наземної підготовки, оскільки є по суті не засобами навчання, а лише моделюючими пристроями з низькими методичними можливостями. АТ як технічні засоби навчання повинні не тільки забезпечувати можливість навчання в умовах, близьких до реальних, але й повинні дозволити реалізувати оптимальну методику навчання, оцінюючи правильність дії навчаємого та змінюючи умови навчання відповідно до результатів роботи кожного навчаємого. Отже, разом з високою якістю моделювання систем літака АТ повинен мати пристрій об'єктивної кількісної оцінки якості тренування, яке повинне подаватися у вигляді зворотного зв'язку інструкторові для корегування програми та навчаємого для стимулювання тренування.

Широке впровадження в АТ цифрових обчислювальних машин (ЦОМ) з широкими можливостями, дозволить проводити оцінку якості тренувань по скільки завгодно складних критеріях.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В даний час авіаційних тренажерів, які б здійснювали навчання із застосуванням кількісних методів об'єктивної оцінки, немає. Також не вирішено питання індивідуалізації тренувань та застосування принципів адаптивного навчання. Однією з причин такого положення є відсутність науково-обґрунтованих і експериментально перевірених критеріїв об'єктивної оцінки діяльності льотчика на АТ. Крім того, обчислювальні машини, що використовуються в АТ, в силу властивих ним недоліків не задовольняють вимогам по оперативній обробці польотної інформації з метою оцінки якості виконання вправ льотчиком.

**Постановка завдання.** Запропонувати та науково обґрунтувати підходи до об'єктивної оцінки якості виконання польотного завдання льотчиком на авіаційному тренажері.

### Основний матеріал

При проведенні оцінки діяльності льотчика необхідно визначити критерій, що характеризують якість виконання вправ або елементів польоту. Найбільш важливими з них є безпомилковість, точність та швидкість виконання операцій, які характеризують здібність льотчика до освоєння динаміки роботи системи в цілому.

Ці критерії як окремі складові служитимуть для визначення комплексного критерію якості виконання вправи льотчиком.

При виконанні того або іншого завдання льотчик отримує інформацію про стан об'єкту управління, яка характеризується вектором станів  $y(t)$ . Як компоненти вектора  $y(t)$  беруться параметри, що характеризують стан системи “льотчик-тренажер”. Вибір сукупності компонентів вектора визначається режимами “польоту” та завданнями, що вирішуються.

При виконанні кожного завдання вектор стану не повинен виходити з деякої області  $S$ , межами якої є компоненти, неприпустимі з погляду безпеки

польоту. Вибір граничних величин обумовлений режимами польоту та характером завдань, що виконуються, технічними і психофізіологічними параметрами. Далі будуються межі областей для ряду оцінок (нормативні зони). Порівняння зміряного вектора з межами нормативних зон дає оцінку за прийнятою шкалою оцінок.

Таким чином, для проведення об'єктивної кількісної оцінки процесу тренування необхідно вирішити наступні задачі:

- вибрати вправи, що підлягають оцінці, та скласти методичку їх виконання на тренажері;
- вибрати критерій об'єктивної оцінки;
- визначити значення бажаних показників (нормативи);
- обчислити кількісні значення критеріїв (показники);
- порівняти обчислені показники по вибраних критеріях з нормативами;
- за наслідками порівняння дати оцінку за прийнятою шкалою оцінок.

Ці завдання вирішуються при оцінці якості виконання вправ (елементів вправ) льотчиком для всіх типів ЛА по всіх видах льотної підготовки: техніці пілотування, літаководінню та бойовому застосуванню. Керівними документами при рішенні цієї задачі є порядок виконання вправ згідно курсам бойової підготовки (курсу льотної підготовки курсантів) та керівництвам по льотній експлуатації ЛА з урахуванням відступів, допущень та умовностей, властивих тренажеру, при виконанні визначених вправ. Важливим є вибір найбільш відповідного та найбільш повного критерію об'єктивної оцінки виконання вправи, що характеризує якість. При рішенні цієї задачі, велику роль грають суб'єктивні рішення, проте ці рішення повинні бути відносно добре обґрунтовані, принаймні логічно (простий фізичний сенс, мінімальний об'єм показників, можливість простій реалізації і перевірки та інше).

Критерії можливо класифікувати по складності таким чином:

- одиничні – критерії оцінки точності витримки льотчиком одного контрольованого параметра;
- узагальнені – критерії оцінки елементів вправ по декількох контрольованих параметрах;
- комплексні – критерії оцінки якості виконання вправ (польотного завдання) льотчиком.

Необхідна складність критерію залежить від структури об'єкту оцінки та вирішуваних завдань об'єктивного контролю. Для обчислення кількісного значення критерію необхідно вибрати функціональну залежність заданих (нормативних) і контрольованих параметрів, в якості якої можуть бути середнє значення, середньоквадратичне відхилення від заданих параметрів, ступінь коливань процесу, спектральна характеристика та інші.

Одною з можливих функціональних залежностей для обчислення значення одиничного критерію може бути залежність у вигляді:

$$f_s = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \Delta A_i; \quad \Delta A_i = \begin{cases} 1, & \text{при } A_i \leq A_3 \\ \frac{A_3}{A_i}, & \text{при } A_i > A_3 \end{cases},$$

де  $f_s$  – значення критерію точності витримки  $s$ -го контрольованого параметра;  $k$  – кількість відхилень;  $A_i$  – відхилення контрольованого параметру;  $A_3$  – задана величина відхилення контрольованого параметра.

Як видно  $f_s$  є нормованою оцінкою з максимальним значенням, рівним 1, яку при необхідності можна звести до п'ятибальної системи оцінок.

Значення узагальненого критерію можна представити у вигляді:

$$I = \int_0^T \sum_{s=1}^n a_s f_s dt,$$

де  $T$  – відрізок часу, на якому визначається показник;  $a_s$  – вага  $s$ -го показника.

Цей критерій доповнюється моментними відхиленнями параметрів в деякі фіксовані моменти часу або в певних точках, тобто функціональним співвідношенням вигляду:

$$T = \sum_{k=1}^m \beta_k y_k,$$

де  $\beta_k$  – вагові коефіцієнти моментних відхилень;  $y_k$  –  $k$ -й момент відхилення.

Необхідність такого доповнення виникає при оцінці зльоту (значення параметрів при відриві від взльотно посадковій смузі), посадки (значення параметрів при проході дальнього та ближнього приводів, в точці дотику), бойового застосування (значення параметрів при захопленні цілі, пуску ракет, скиданні бомб та інші).

Для обчислення узагальненого критерію  $I$  та відрізка часу, на якому визначається показник  $T$  необхідно знати вагові коефіцієнти  $a_s$  та  $\beta_k$ , які можуть бути визначені методом експертних оцінок або на основі об'єктивних експериментальних даних. Додатковою інформацією для оцінки якості виконання польотного завдання льотчиком на тренажері є медикобіологічна інформація (пульс, об'єм легеневої вентиляції, біоелектрична активність м'язів рук, динаміка розподілу уваги по приладовій дошці та перемикання уваги), що реєструється перед польотом на тренажері, а також в процесі виконання вправи.

Остаточна оцінка льотчику дається інструктором на основі об'єктивних кількісних показників, які обчислюються бортовою обчислювальною машиною, та комплексу інформації, що видається на

пульт інструктора.

Оцінка техніки пілотування згідно викладеної методики, проводиться шляхом автоматичного аналізу максимальної кількості контрольованих параметрів від заданих величин та обчислення показників точності кожного контрольованого параметра елемента вправи. При перевищенні встановлених літакових обмежень на індикацію інструкторові видається значення параметра, що перевищив допустиме значення. Елементи вправ по техніці пілотування, контрольовані параметри і нормативні відхилення від заданих значень параметрів беруться з Курсу бойової підготовки для даного типу ЛА.

Оцінка зльоту на тренажері проводиться за обчисленими показниками про витримку на пряму при розгоні, а також про величину швидкості відриву від ВПС. Оцінка посадки здійснюється за обчисленими показниками точності витримки глибини, бічним відхиленням та дальністю від початку ВПС точки дотику, вертикальної і горизонтальної швидкості польоту у момент приземлення.

Витримка заданого маршруту при виконанні польотного завдання по літаководінню оцінюється по максимальних бічних ухиленнях на етапах та ухиленнях біля поворотних пунктів маршруту шляхом порівняння фактичних бічних ухилень з нормативними для відповідних умов польоту. Точність виходу на ціль в заданий час оцінюється по величині відхилення фактичного часу виходу від заданого (розрахункового).

Виконання польотних завдань на бойове застосування залежно від типу ЛА оцінюється за наслідками перехоплення повітряної цілі, атаки повітряної цілі, бомбометання та пуску ракет по наземних цілях.

Оцінка перехоплення повітряної цілі проводиться по величині показника якості пілотування при витримці заданого режиму в горизонтальній та вертикальній площинах. Виконання команд наведення льотчиком вважається заліковим, якщо перехоплення відбулося на заданому рубежі.

Оцінка застосування ракет, що самонаводяться, проводиться на основі аналізу умов захоплення цілі ( $H, V, D_{ц}, \varepsilon_{гц}, \varepsilon_{вц}, t_{зах}$ ), умов пуску керованих ракет ( $H, V, n_y, \beta, \gamma, D_{пуску}, D_{ц}, \varepsilon_{гц}, \varepsilon_{вц}$ ), наявність сигналу "Пуск дозволений". Оцінка видається у вигляді "виконано" або "не виконано".

Точність прицілювання оцінюється по положенню прицільного кільця відносно цілі або по радіальній помилці наведення при методі  $\phi_0$  у момент натиснення бойової кнопки. Ураження повітряних цілей оцінюється по відносних мінімальних координатах зброї і запрограмованої цілі.

При оцінці атак наземних цілей із застосуванням авіабомб реєструються умови скидання авіабомб ( $H, V, v, \gamma, n_y$ ), точність бомбометання ( $\Delta x,$

$\Delta z$ ) і умови виходу з атаки ( $H, V, n_y$ ).

Точність прив'язки оцінюється шляхом порівняння фактичного відхилення з нормативним відхиленням.

Оцінка точності бомбометання проводиться порівнянням фактичного відхилення з нормативним, вираженим через вірогідне відхилення  $E$  при круговому розсіюванні або через вірогідні відхилення  $E_x$  та  $E_y$  – при еліптичному розсіюванні.

Значення вірогідних відхилень приводяться у відповідному керівництві.

Застосування ЦОМ в якості базового, обчислювача тренажера дозволяє оперативно обчислювати показники якості виконання вправ (елементів вправ) льотчиком.

## Висновки

Програми оцінки якості виконання польотного завдання льотчиком будуються з урахуванням можливості як комплексної оцінки, так і оцінки окремих елементів вправ по пілотуванню, літаководінню та бойовому застосуванню. Алгоритми повинні дозволити вносити зміни до нормативних оцінок та складу оцінюваних елементів. В цілях раціонального використання пам'яті обчислювача перед польотом на тренажері завантажуються комплект програм стосовно оцінюваної вправи. Зміна завдань, що підлягають оцінці, здійснюється шляхом введення інформації з зовнішніх носіїв.

## Список літератури

1. Красовский А.А. Основы теории авиационных тренажеров / А.А. Красовский. – М.: Машиностроение, 1995. – 304 с.
2. Макаров Р.Н. Теория и практика конструирования целевых моделей операторов особо сложных систем управления / Р.Н. Макаров, Л.В. Герасименко. – М.: МАКЧАК, 1997. – 530 с.
3. Макаров Р.Н. Авиация XX века. Рождение авиации, лёгкое обучение и тренажёры / Р.Н. Макаров, В.М. Зарецкий, В.И. Федоришин. – М.: МАКЧАК, 2003. – 524 с.
4. Оружие и технологии России. Энциклопедия. XXI век. Том 10. Авиационное вооружение и авионика. – М.: Издательский дом "Оружие и технологии", 2005. – 784 с.
5. Боднер В.А. Авиационные тренажёры / В.А. Боднер, Р.А. Закиров, И.И. Смирнова. – М.: Машиностроение, 1978. – 192 с.
6. Тренажерные системы / В.Е. Шукинунов, Ю.А. Бакулов, В.Н. Григоренко и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 256 с.
7. Меерович Г.Ш. Авиационные тренажёры и безопасность полетов / Г.Ш. Меерович, А.И. Годунов, О.К. Ермолов / под ред. Г.Ш. Мееровича. – М.: Воздушный транспорт, 1990. – 343 с.

Надійшла до редколегії 18.04.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Є.Л. Казаков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**ПОДХОДЫ К ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ  
ПОЛЁТНОГО ЗАДАНИЯ ЛЁТЧИКОМ НА АВИАЦИОННОМ ТРЕНАЖЕРЕ**

Д.Г. Васильев, Н.К. Петерин, С.В. Ратушный

*Предложены подходы к объективной оценке качества выполнения полетного задания летчиком на авиационном тренажере. Определены задачи по проведению объективной количественной оценке процесса тренировки, критерии, которые характеризуют выполнение упражнений (элементов упражнений) летчиком на тренажере, предложены аналитические выражения для их расчетов.*

**Ключевые слова:** авиационный тренажер, лётчик, летательный аппарат, объективный контроль, объективная оценка, критерий, параметр.

**APPROACHS TO OBJECTIVE ESTIMATION OF QUALITY IMPLEMENTATION  
FLIGHT TASK PILOT ON AVIATION TRAINER**

D.G. Vasiliev, N.K. Peterin, S.V. Ratushny

*Approachs to objective estimation of quality of the flight job processing a pilot on aviation trainer is offered. Tasks on realization objective quantitative estimation of training process and criterias which characterize implementation of exercises (elements of exercises) a pilot on trainer are certain, analytical expressions for their calculations are offered.*

**Keywords:** aviation trainer, pilot, aircraft, objective control, objective estimation, criterion, parameter.