

УДК 681.5.015: 378

Савінов О.М., канд. техн. наук

МОДЕЛЬ НАВЧЕНОСТІ ЛЬОТЧИКА ПРИ СУМІСНОМУ ВИКОРИСТАННІ ЛЬОТНОЇ ТА ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ

Національний авіаційний університет

Обґрунтована необхідність та запропонована методика розробки моделі навченості льотчика при сумісному використанні льотної та тренажерної підготовки

Постановка проблеми

Важливим завданням розвитку авіатransпортної галузі є модифікація системи управління безпекою польотів (СУБП) як всього міжнародного авіаційного комплексу, так і СУБП конкретних держав, кожного суб'єкта авіатransпортної діяльності [1]. До 80% авіаційних подій відбувається з вини персоналу, основні фактори помилкових дій якого прямо або опосередковано пов'язані з рівнем його професійної підготовки [2, 3]. Біля 60% авіаційних подій обумовлено діями льотного складу, тому питання відповідності рівня його професійної підготовки є найбільш актуальними і в умовах еволюційних змін в теорії забезпечення безпеки польотів.

Особливості функціонування вітчизняної системи підготовки льотного персоналу на сучасному етапі: процес впровадження міжнародних норм регулювання діяльності в цій сфері; перехід на іноземну техніку та процеси її обслуговування, та пов'язаний у зв'язку з цим дефіцит авіаційних кадрів. До основних завдань кадрового забезпечення належать: необхідність відповідності міжнародним вимогам в галузі підготовки льотного складу; встановлення вимог до рівня підготовки у відповідності до процесу модифікації СУБП; мінімізація дефіциту льотних кадрів. Реалізація цих завдань не можлива без фундаментальної перебудови методології підготовки льотного складу, перегляду принципів застосування технічних засобів навчання (ТЗН). Це потребує формалізації процесу підготовки пілотів, розробки моделей навчання, які враховують вимоги до його якості, обмеження на

використання ресурсів та умови застосування ТЗН.

Не зважаючи на впровадження сучасних технологій, технічне вдосконалення таких ТЗН, як авіаційні тренажери не принесло очікуваних результатів з підвищення якості навчання пілотів, мінімізації витрат ресурсів (під якими далі розуміємо все, що може перетворитися в ефект навчання: фінанси, час, матеріали, кадри). Тому задача розробки моделі навченості льотчика при сумісному використанні льотної та тренажерної підготовки є актуальною для розвитку системи кадрового забезпечення авіаційної галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Нормативні вимоги щодо льотної та тренажерної підготовки пілотів (кількість годин для відповідних категорій) регламентуються міжнародними та національними правилами підготовки та сертифікації льотного складу, зокрема [4, 5]. При цьому рівень підготовки пілотів традиційно оцінюється практично тільки досвідом льотної роботи, який, в свою чергу, визначається кількістю льотних годин.

Розвитком традиційної методології підготовки пілотів стала реалізація компетентного підходу при розробці програми підготовки пілотів багаточленного екіпажу – *Multi-Crew Pilot License (MPL)* [6]. Але в означеній постановці задачі математичні моделі для обґрунтування як традиційного, так і компетентного підходів при підготовці авіаційного персоналу не розглядалися.

При моделюванні загальних освітніх процесів зазвичай використовуються лінійні моделі з ваговими коефіцієнтами

[7 - 10]. В [11, 12] показано, що в задачі досягнення завданої якості навчання при завданому рівні витрат ресурсів доцільно використання моделей на базі логістичних рівнянь.

Метою статті є розробка моделі навченості льотчика при сумісному використанні льотної та тренажерної підготовки за допомогою багатовимірних моделей навчання на базі логістичних рівнянь. Це надасть можливість переглянути методологію підготовки пілотів, перейти від вимог до кількісної оцінки досвіду льотної роботи (кількість льотних годин) до якісної оцінки компетенцій фахівця.

Виклад основного матеріалу

Задачу підвищення якості навчання пілотів, мінімізації витрат ресурсів можливо вирішити за допомогою перегляду технологій підготовки пілотів. При цьому зменшується час нальоту на навчальних літаках за рахунок більш широкого використання ТЗН, які забезпечують інтеграцію знань та необхідних практичних навичок. Перш за все, це стосується тренажерної підготовки з використанням комплексу тренажерів різного рівня. Наприклад, при підготовці пілотів за програмою MPL дозволяється при збереженні об'єму практичної підготовки у кількості 240 годин, його перерозподіл між тренажерною та льотною підготовкою на розсуд навчального закладу за умовою, що кількість льотних годин залишається не меншою 70 годин.

Вибір співвідношення часу льотної та тренажерної підготовки для оптимізації витрачання ресурсів відноситься до задач з декількома цільовими функціями, які можуть бути суперечливими та досягати максимуму в різних точках множини альтернатив (багатокритеріальних задач). Рішення таких задач не можливе без синтезу ефективної та придатної для практичного застосування багатовимірної моделі, яка характеризує залежність якості навчання від витрачених ресурсів.

Спираючись на переваги, які описані в [11, 12], оберемо у якості базової залежності побудови моделі навченості льотчи-

ка при сумісному використанні льотної та тренажерної підготовки логістичну. Оскільки навчання є динамічним процесом, то модель запишемо у вигляді звичайного диференціального рівняння:

$$\frac{dx_L}{dt} = k_L x_L (a_L - x_L), \quad (1)$$

де x_L – рівень навченості льотчика, k_L , a_L коефіцієнти, t – час.

Суворо кажучи, рівняння (1) показує динаміку зростання навченості льотчика внаслідок льотної підготовки. Але загальновідомо [6], що тренажерна підготовка також вдосконалює льотні навички льотчика:

$$\frac{dx_T}{dt} = k_T x_T (a_T - x_T), \quad (2)$$

де x_T – рівень навченості льотчика, який досягнутий внаслідок тренажерної підготовки, k_T , a_T коефіцієнти.

Слід зауважити, що величини a_L та a_T показують максимально можливий рівень підготовки льотчика, якого можна досягти за допомогою відповідного виду підготовки. За експертними даними [13] визначено, що ці значення можуть дорівнювати $a_L = 0,85 - 1,15$; $a_T = 0,35 - 0,65$. В нашому дослідженні прийнято $a_L = 1$; $a_T = 0,45$. Оскільки $a_T < a_L$, то тренажерну підготовку можна застосовувати лише якщо $x_L < a_T$.

У якості бажаних рівнів x_L , яких необхідно досягти, зазвичай встановлюються:

$x_{L_level} = 0,3$ – можливо допускати до льотної підготовки з інструктором;

$x_{L_level} = 0,5$ – можливо допускати до самостійних польотів за найпростішою програмою;

$x_{L_level} = 0,7$ – можливо допускати до самостійних польотів за програми польотів середньої складності;

$x_{L_level} = 0,9$ – можливо допускати до самостійних польотів за рівнем льотчика.

За необхідністю можливо введення й інших рівнів підготовки, наприклад для підготовки командирів екіпажів. Правильний вибір необхідних рівнів підготовки є важливим для різних моделей спільної льотної та тренажерної підготовки. Наприклад, для задач початкової підготовки пілотів тренажерна підготовка починається з нульового рівня, імітація нештатних ситуацій на тренажері не стільки важлива, як для підвищення рівня діючого пілота. Для задач підвищення класу пілота, адаптації при зміні умов роботи (апробація маршруту, встановлення нового обладнання), вводу в стрій після перерви в льотної роботі тренажерна підготовка починається з визначеного рівня та обов'язково включає імітацію нештатних режимів польоту.

Звернемо увагу на те, що крім позитивного ефекту тренажерна підготовка може мати негативні наслідки із-за виникнення у людини, яка навчається в умовах відсутності реального впливу зовнішніх факторів відчуття, надлишкової впевненості, необґрунтованого ризику поведінки. Отже до попередніх рівнянь слід додати:

$$\frac{dx_{Tm}}{dt} = k_{Tm} x_{Tm} (a_{Tm} - x_{Tm}), \quad (3)$$

де x_{Tm} – рівень негативного впливу тренажерної підготовки на навченість льотчика, k_{Tm} , a_{Tm} – коефіцієнти.

Ця складова при використанні лише тренажерної підготовки знижує загальний рівень підготовки x_L за означеним законом, але з початком реалізації льотної підготовки її дія за тим же законом зменшується. Повна модель сумісної льотної та тренажерної підготовки льотчика має вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dx_L}{dt} &= k_L x_L (a_L - x_L); \\ \frac{dx_T}{dt} &= k_T x_T (a_T - x_T); \\ \frac{dx_{Tm}}{dt} &= k_{Tm} x_{Tm} (a_{Tm} - x_{Tm}). \end{aligned} \quad (4)$$

Використаємо спрощену модель (4) для моделювання початкової підготовки пілота при одному переключенні з тренажерного на льотний етап навчання. Моделювання виконане в середовищі *Matlab*. Для наочності інтегрування звичайних диференціальних рівнянь виконане методом Ейлера.

Основні змінні моделювання:

t_0 , t_2 – час початку та кінця інтегрування, t_1 – час переключення з тренажерної на льотну підготовку, dt – крок інтегрування.

a_L , k_L , a_T , k_T , a_{Tm} , k_{Tm} – параметри логістичних рівнянь (4).

dCL , dCT – вартість одиниці часу льотної та тренажерної підготовок.

x – рівень тренажерної підготовки; x_L – рівень льотної підготовки; x_{Tm} – рівень негативного впливу тренажерної підготовки; c – сумарна вартість підготовки на поточний момент часу t . Масиви, які містять поточні величини цих змінних на всіх кроках інтегрування мають аналогічні позначки але починаються з великих літер – XL , X , XTm , C , T .

xL_Level – заданий рівень підготовки в умовних одиницях.

Інтегрування рівнянь (4) виконується підпрограмою (*F_Training*). Після цього будуються графіки величин XL , X , XTm , C .

В підпрограмі (*F_Training*) контролюється невихід величин за межі припустимих значень, зокрема в зону від'ємних величин та невихід за межі, які визначені асимптомами логістичних рівнянь a_L , a_T , a_{Tm} . Також контролюється логіка збільшення або зменшення рівня підготовки залежно від динаміки величини XTm . Передача даних з підпрограми (*F_Training*) в головну програму виконується за допомогою структури даних s . Нижче наведений текст програми моделювання.

```
clear
t0=0; t1=15; t2=25; dt=0.01;
aL=1.35; kL=0.3; aT=0.45; kT=1;
aTm=0.15; kTm=2;
```

```

dCL=10; dCT=1; %per Time unit
xL=0.001; XL(1)= xL;
x=0.01; X(1)=x;
xTm=0.001; XTm(1)=xTm;
c=0; C(1)=c;
xL_Level=1; %Skill Level
k_C_Graph1=0.01;

s=F_Training(t0,t1,t2,
dt,aL,aT,aTm,kL,kT,kTm,dCL,dCT,xL,
x,xTm,c,xL_Level);

T=s.T; XL=s.XL; X=s.X; XTm=s.XTm;
C=s.C;
iFix=s.iFix;

    tFix=T(iFix);
    cFix=C(iFix);
    xLFix=XL(iFix);

figure (1)
plot(T,          XL,'b-',T,X,'k-',T,
1*XTm,'k--',...
T, k_C_Graph1*C, 'g-')
grid on; hold on
plot(tFix,k_C_Graph1*cFix,'r.-'
',...
tFix,xLFix,'r.-')
plot([tFix tFix], [0 aL],'r-',...
[t0 t2], [xL_Level xL_Level],'r--'
')
legend ( 'Fly','Ground','Bad','UAH
x 1000',-1 )
hold off

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Function
s=F_Training(t0,t1,t2,dt,aL,aT,aTm
,kL,kT,kTm,dCL,dCT,xL,x,xTm,c,xL_L
evel);
t=t0; i=1; f_Cost=0;
while t < t2;
    i=i+1; t=t+dt;
    ddxTm=dt*(kTm*xTm*(aTm-xTm));
    ddx=dt*(kT*x*(aT-x));
    ddxL=dt*(kL*xL*(aL-xL));
    if t<t1
    if x+ddx>aT; ddxL=0;
    else ddxL=ddx;
    end
    xTm=xTm+ddxTm;
    c=c+dCT*dt;
    else
    ddx=ddxL;
    xTm=xTm-ddxTm;

```

```

c=c+dCL*dt;
end
x=x+ddx-ddxTm;
xL=xL+ddxL-ddxTm;
if x>aT; x=aT-0.0001; end
if xL>aL; x=aL- 0.0001;end
if xTm>aTm; x=aTm-0.0001; end

T(i)=t; C(i)=c;

if xL<0; xL=0.0001; end; XL(i)=xL;
if x<0; x=0.0001; end; X(i)=x;
if xTm<0; xTm=0.0001; end;
XTm(i)=xTm;
if xL>xL_Level & f_Cost==0;
iFix=i;
f_Cost=1; % We Get Decision
end
end
if f_Cost==0; iFix=i; end %WeNot-
GetDecision
s.T=T; s.XL=XL; s.X=X; s.XTm=XTm;
s.C=C;
s.iFix=iFix; s.f_Cost=f_Cost;

```

На рис. 1 наведено результати моделювання: сумарна залежність формується складовими тренажерної x_T та льотної підготовки x_L ; залежність x_{Tm} характеризує негативний вплив тренажерної підготовки; c – витрати на підготовку; переключення з тренажерної на льотну підготовку відбувається в точці зі значенням абсциси (15), що відповідає рівню підготовки $x_T = 0,4$.

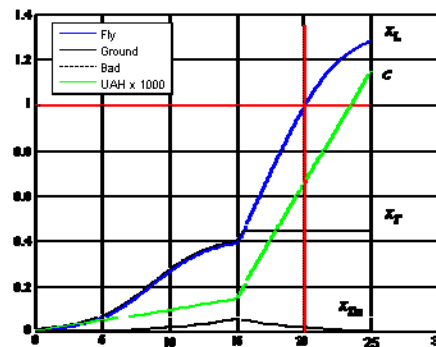


Рис. 1. Результати моделювання сумісної льотної та тренажерної підготовки льотчика

Графіки (рис. 1) показують, що зростання рівня підготовки при льотному тренуванні в одиницю часу набагато вище ніж при підготовці на тренажері, але й зростання вартості цього виду підготовки в

одиницю часу також набагато вище. Отже має існувати певна точка оптимального переключення з одного виду підготовки на інший за критерієм мінімуму сумарною вартості підготовки до заданого рівня. Негативний вплив тренажерної підготовки виходячи з рис.1, скоріше за все суттєвого значення не має, але його врахування обов'язкове, оскільки при певних умовах цей вплив може стати суттєвим.

Висновки

Таким чином, в статті запропонована динамічна модель навченості льотчика при сумісному використанні льотної та тренажерної підготовки. В результаті моделювання виявлені основні якісні закономірності зростання навченості льотчика при такому виді підготовки.

Напрямки подальших досліджень

Подальші дослідження слід присвятити пошуку оптимального співвідношення часу тренажерної і льотної підготовки при навчанні пілота.

Список літератури

1. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). Дос 9859. Издание второе. Международная организация гражданской авиации. 2009.
2. Жулев В.И., Иванов В.С. Безопасность полетов летательных аппаратов. – М.: Транспорт, 1986. – 224 с.
3. Овчаров В.Е. Человеческий фактор в авиационных происшествиях. – М.: МАК, 2005. – 80 с.
4. Вимоги об'єднаної авіаційної влади Європи щодо свідоцтв льотного складу (JAR-FCL1, JAR-FCL2).
5. Правила сертифікації авіаційних навчальних закладів цивільної авіації з підготовки льотного складу в Україні. Затверджено наказом Державаслужби 17.08.05 № 601.
6. Приложение 1 к Конвенции о международной гражданской авиации «Выдача свидетельств авиационному персоналу». Десятое издание. ИКАО. 2006.

7. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 368 с.

8. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: пер. с англ. под ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.

9. Федорук П.І. Графо-автоматна модель адаптивної системи дистанційного навчання та контролю знань / Математичні машини і системи. – 2006. – № 4. – С. 144–154.

10. Аткинсон Р., Бауэр Г., Кротерс Э. Введение в математическую теорию обучения – М.: Мир, 1969. – 486 с.

11. Савінов О.М., Бобрович Моделі оперативного прогнозування якості навчання фахівців технічного профілю // Зб.наук.праць ЦВСД НУОУ. – вип.1(39). – К.:НУОУ. – 2009. – С. 87–91.

12. Савінов О.М., Поривай О.В. Багатовимірні моделі прогнозування якості навчання // Зб.наук.праць ЦВСД НУОУ. – вип.2(40). – К.:НУОУ. – 2009. – С. 62–69.

13. Желтухин В.В. Пути совершенствования подготовки летного состава в сфере решения проблем эксплуатации современных воздушных судов // Межвузовский сборник научных трудов. – СПб.: Академия гражданской авиации, 1999. – Т. V – С. 222–224.

Подано до редакції 22.03.10