

УДК 681.5.015: 378(045)

О. М. Савінов, канд. техн. наук

ЗАКОНОМІРНОСТІ ОПТИМАЛЬНИХ РІШЕНЬ ЩОДО СУМІСНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЛЬОТНОЇ І ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ

Інститут електроніки та систем управління НАУ, e-mail: iesy@nau.edu.ua

Розглянуто модель навченості льотчика за сумісного використання льотної і тренажерної підготовки. Знайдено моменти часу переключення між видами підготовки, оптимальні за критеріями мінімуму вартості та мінімуму часу підготовки. Визначено закономірності оптимальних рішень за варіації відносної вартості льотної підготовки та завданого рівня навченості.

Ключові слова: модель навченості льотчика, критерій мінімуму вартості, критерій мінімуму часу, заданий рівень навченості.

Постановка проблеми. Актуальність проблеми модифікації системи забезпечення безпеки польотів, підвищення рівня професійної підготовки авіаційних спеціалістів розглянуто в багатьох публікаціях [1 – 4]. Актуальність обумовлюється новими підходами до забезпечення безпеки польотів [5], прогресуючим дефіцитом льотних кадрів [6] та значними ресурсними витратами в процесі їх підготовки. Значущість цих факторів підвищується в умовах економічної кризи, особливо для держав, які тільки будують систему професійної підготовки льотних кадрів.

Важливим напрямом удосконалення підготовки пілотів є оптимізація розподілу часу між льотною та тренажерною підготовкою [4]. Подальша реалізація теоретичних результатів оптимізації на практиці можлива за умови виявлення закономірностей оптимальних рішень залежно від змін параметрів навчання. Ці закономірності мають стати основою управлінських рішень для обрання стратегій навчання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вимоги до часу льотної та тренажерної підготовки містяться в міжнародних та національних стандартах з підготовки та сертифікації льотного складу [7; 8]. Традиційно рівень кваліфікації пілота та дозвіл на керування відповідним типом літака визначається жорсткими вимогами до кількості годин льотної практики. Прикладом сучасного підходу до методології навчання пілотів, який характеризується значним збільшенням часу тренажерної підготовки та скороченням загального часу є програма підготовки пілотів багаточленного екіпажу – Multi-Crew Pilot License (MPL) [9]. Для реалізації компетентного підходу до розроблення програм MPL міжнародна організація ICAO рекомендувала використовувати методику розроблення курсів ISD (Instruction Systems Design), яка дозволяє встановити взаємозв'язок між навичками і вміннями для виконання деякого завдання та відповідною програмою професійної підготовки [10].

Але в розглянутих підходах немає обґрунтування вимог до розподілу льотної та тренажерної підготовки, що не дозволяє приймати обґрунтованих оптимальних рішень щодо стратегії навчання льотчиків при використанні як традиційного, так і компетентного підходів.

Метою статті є визначення закономірностей оптимальних рішень за критеріями мінімуму вартості та мінімуму часу навчання льотчика при зміні параметрів процесів навчання за сумісного використання льотної і тренажерної підготовки.

Виклад основного матеріалу. Як базову залежність моделі навченості льотчика за сумісного використання льотної і тренажерної підготовки обрано логістичну залежність [1; 2] у вигляді звичайного диференціального рівняння, яке показує динаміку зростання навченості льотчика внаслідок льотної підготовки

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

де x_L – рівень навченості льотчика; k_L , a_L – коефіцієнти; t – час. Тренажерне навчання описується рівнянням

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

де x_T – рівень навченості льотчика, досягнутий внаслідок тренажерної підготовки; k_T , a_T – коефіцієнти. Величини a_L та a_T показують максимально можливий рівень підготовки льотчика, якого можна досягти за допомогою відповідного виду підготовки. За експертними даними [11] ці значення можуть дорівнювати $a_L = 0,85 - 1,15$; $a_T = 0,35 - 0,65$. В цьому дослідженні взято $a_L = 1$; $a_T = 0,45$. Оскільки $a_T < a_L$, то тренажерну підготовку можна застосовувати лише при $x_L < a_T$.

Різні рівні заданої льотної навченості x_L (яких необхідно досягти наприкінці навчання) відповідають різним умовам подальшого допуску до польотів:

$x_{L_level} = 0,3$ – льотна підготовки з інструктором;

$x_{L_level} = 0,5$ – самостійні польоти за найпростішою програмою;

$x_{L_level} = 0,7$ – самостійні польоти за програмою середньої складності;

$x_{L_level} = 0,9$ – самостійні польоти за рівнем льотчика.

Можливе введення й інших рівнів підготовки, наприклад для підготовки командирів екіпажів. Правильний вибір необхідних рівнів підготовки є важливим для різних моделей спільної льотної і тренажерної підготовки. Наприклад, в процесі початкової підготовки пілотів тренажерна підготовка починається з нульового рівня; імітація нештатних ситуацій на тренажері не настільки важлива, як для підвищення рівня діючого пілота. Для завдань підвищення класу пілота, адаптації у разі зміни умов роботи (апробація маршруту, встановлення нового обладнання), введення в стрій після перерви в льотній роботі тренажерна підготовка починається з визначеного рівня та обов'язково включає імітацію нештатних режимів польоту.

Крім позитивного ефекту, тренажерна підготовка може мати негативні наслідки через виникнення у людини, яка навчається в умовах, коли немає реального впливу зовнішніх факторів, відчуття надлишкової самовпевненості, необґрунтованого ризику поведінки. Отже, до попередніх рівнянь слід додати:

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

де x_{Tm} – рівень негативного впливу тренажерної підготовки на навченість льотчика; k_{Tm} , a_{Tm} – коефіцієнти. Ця складова у разі використання 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:

$$\frac{dx_L}{dt} = k_L x_L (a_L - x_L);$$

$$\frac{dx_T}{dt} = k_T x_T (a_T - x_T); \quad (1)$$

$$\frac{dx_{Tm}}{dt} = k_{Tm} x_{Tm} (a_{Tm} - x_{Tm}).$$

За допомогою спрощеної моделі (1) було виконано моделювання початкової підготовки пілота в разі одного переключення з тренажерного на льотний етап навчання (рис. 1) [3]. Результируюча залежність складається з тренажерної x_T та льотної підготовок x_L ; залежність x_{Tm} характеризує негативний вплив тренажерної підготовки; c – витрати на підготовку.

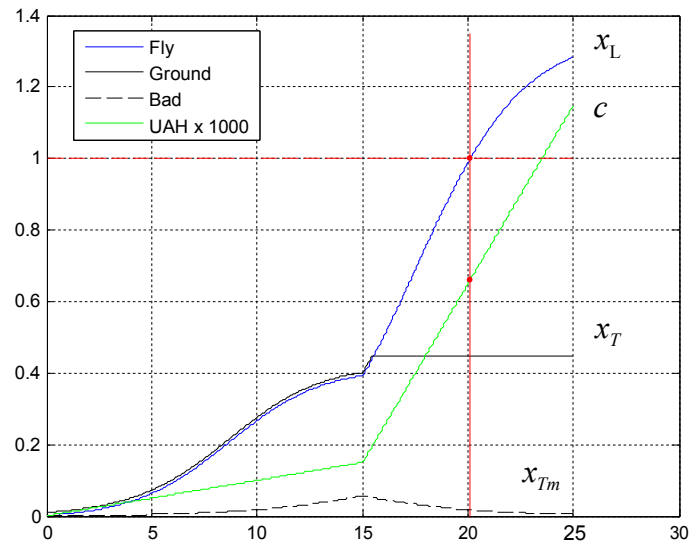


Рис. 1. Результати моделювання сумісної льотної та тренажерної підготовки льотчика

Для знаходження оптимального моменту часу t_2 переключення з тренажерної на льотну підготовку була промодельована динаміка навчання для всіх можливих величин t_2 (з певним кроком) в діапазоні допустимих значень. Як для залежності вартості підготовки $C(t_2)$, так й для залежності часу підготовки $T(t_2)$ знайдено оптимальні (мінімальні) значення (рис. 2) [4]. Знайдені розв'язки оптимальні за суперечними критеріями. В першому випадку це мінімум вартості $I_C = \min_{t_2}(C(t_2))$ в другому – мінімум часу підготовки $I_T = \min_{t_2}(T(t_2))$.

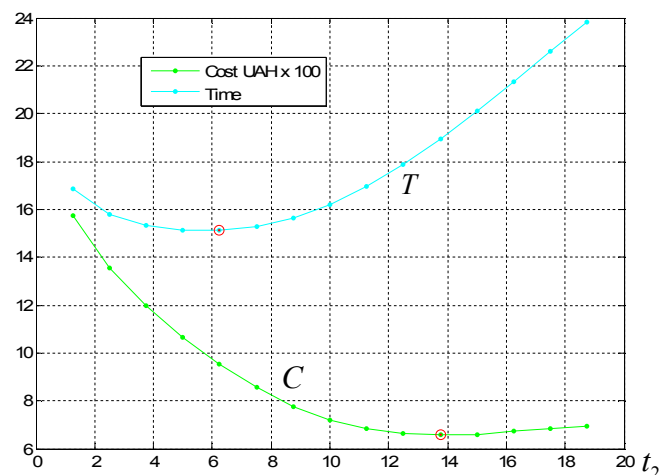


Рис. 2. Залежності вартості $C(t_2)$ та часу $T(t_2)$ досягнення заданого рівня навченості від моменту t_2 переключення з тренажерної на льотну підготовку

Перший критерій доцільно використовувати під час первинної підготовки пілотів, які не мають практичного досвіду, або для відбору кандидатів з метою подальшого навчання. Другий – у процесі перепідготовки діючих пілотів на інший тип літака, засвоєння нового обладнання

чи підготовки військових пілотів у воєнний час. Для задоволення обох суперечних критеріїв доцільне використання множини Парето-оптимальних рішень [4].

Для дослідження проблеми найбільший інтерес становить розкриття природи оптимальних розв'язків залежно від зміни фізичних умов процесу, що оптимізується. В розглядуваному випадку найбільш впливовими факторами є заданий мінімально допустимий рівень підготовки x_{L_level} (який варіюємо від 0,5 до 1, $x_{L_level} = \{0,5; 0,75; 1,0\}$) та величина вартості видів підготовки. Додаткові дослідження показали, що оптимальна величина точки часу t_1 переключення з одного на інший вид підготовки майже не залежить від абсолютних величин вартості видів підготовки (тут і далі мається на увазі вартість одиниці часу підготовки), а залежить від співвідношення їх вартостей. Оскільки тренажерна підготовка дешевша, то її вартість беремо за одиницю ($dCT = 1$), а відносну вартість льотної підготовки будемо варіювати в діапазоні від 2 до 160 з кроком 5 ($dCL = 2:5:160$ в нотації Matlab), що охоплює майже весь діапазон її можливих значень. Результати оптимізаційного моделювання показано на рис. 3.

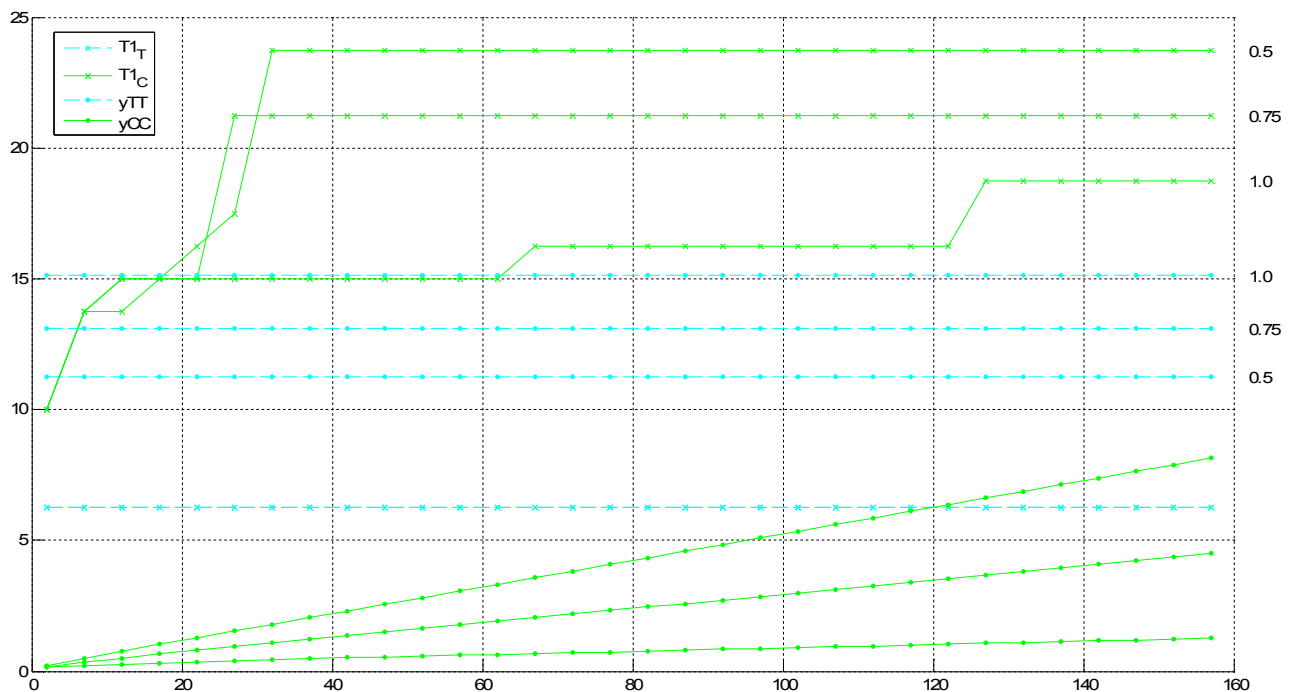


Рис. 3. Залежність параметрів оптимальних розв'язків від заданих рівнів підготовки $x_{L_level} = \{0,5; 0,75; 1,0\}$ та вартості тренажерної ($dCT = 1$) та льотної ($dCL = 2:5:160$) підготовок

Тут подано величини оптимального часу t_1 переключення з одного на інший вид підготовки для оптимізації за критерієм мінімуму часу підготовки $T1_T$ та критерієм мінімуму вартості підготовки $T1_C$. Також наведено графіки залежності оптимальних часу yTT та вартості yCC . Графіки зображено залежно від відносної вартості льотної підготовки ($dCL = 2:5:160$).

Чотири види графіків показано у вигляді сім'ї залежностей для різних величин заданого рівня підготовки $x_{L_level} = \{0,5; 0,75; 1,0\}$. У всіх сім'ях оптимальних величин $yTT(dCL)$ та $yCC(dCL)$ залежність для $x_{L_level} = 0,5$ розміщена знизу, а залежність для $x_{L_level} = 1,0$ – зверху. При оптимізації за критерієм мінімуму часу підготовки всі три графіки для оптимального часу

переключення $T1_T(dCL)$ повністю співпали (тобто при оптимізації за критерієм оптимальне рішення інваріантне до величини завданого рівня підготовки). Слід відзначити, що при оптимізації за даним критерієм і оптимальний час переключення і оптимальна величина часу підготовки не залежать (інваріантні) від відносної вартості льотної підготовки.

Інша ситуація при оптимізації за критерієм мінімуму вартості підготовки. Оптимальна величина вартості підготовки практично прямо пропорційна відносній вартості льотної підготовки. Але оптимальна величина часу переключення між видами підготовок $T1_C(dCL)$ має складний характер і складається з ділянки зростання поряд із зростанням відносної вартості льотної підготовки dCL і ділянки стабілізації на якій $T1_C = \text{const}$. Причому залежно від $x_{L_level} = \{0,5; 0,75; 1,0\}$ порядок графіків зворотний. Тобто залежність $T1_C(dCL)$ для випадку $x_{L_level} = 1,0$ розміщена знизу, а залежність для $x_{L_level} = 0,5$ – зверху.

Для збільшення наочності результатів моделювання наведемо залежність оптимального (за критерієм мінімуму вартості навчання) часу переключення з одного на інший вид підготовки у вигляді тривимірної поверхні (рис. 4). Аргументами цієї залежності є заданий рівень навченості та відносна вартість льотної підготовки $T1_C(dCL, x_{L_level})$.

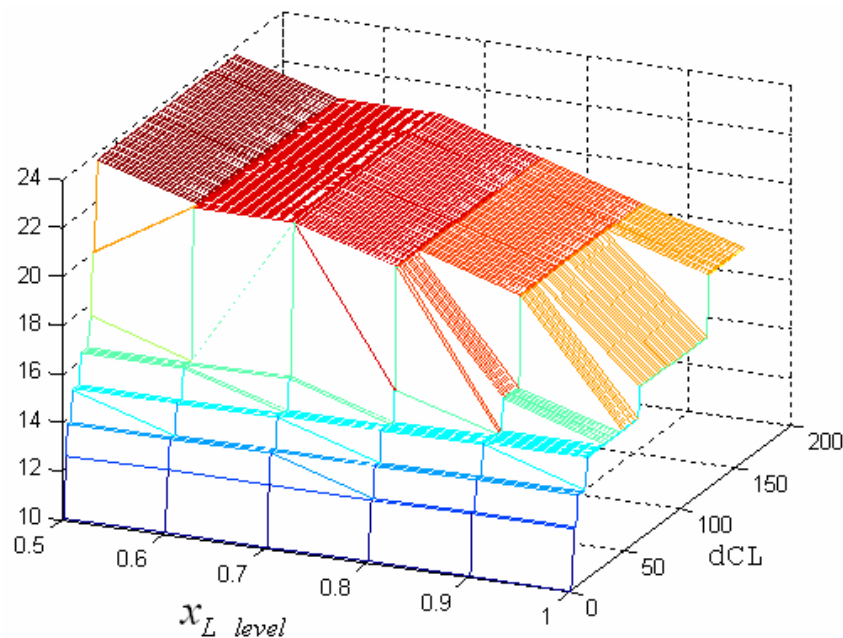


Рис. 4. Залежність $T1_C(dCL, x_{L_level})$ у вигляді поверхні

Таку саму залежність у вигляді топографічної мапи показано на рис. 5. Як бачимо, оптимальний час переключення між видами підготовки монотонно зростає зі збільшенням відносної вартості льотної підготовки та зі зменшенням заданого рівня навченості. Перша закономірність пояснюється тим, що чим дорожча льотна підготовка, тим більше можна зекономити за рахунок тривалого використання тренажерної підготовки. Друга закономірність менш очевидна, але частково може бути пояснена тим, що за меншого заданого рівня навченості цей рівень ближче до верхнього обмеження (асимптоти) технології тренажерного навчання.

Знайдені розв'язки виявляють закономірності, корисні для визначення оптимальних стратегій управління навчальним процесом, а також свідчать про те, що оптимальні залежності не є очевидними і в кожному випадку потребують ретельної побудови моделі та виконання відповідного процесу оптимізації. За попередніми оцінками оптимальні розв'язки для прийнятих постановок задачі забезпечують економію коштів на навчання від 4 до 17 %.

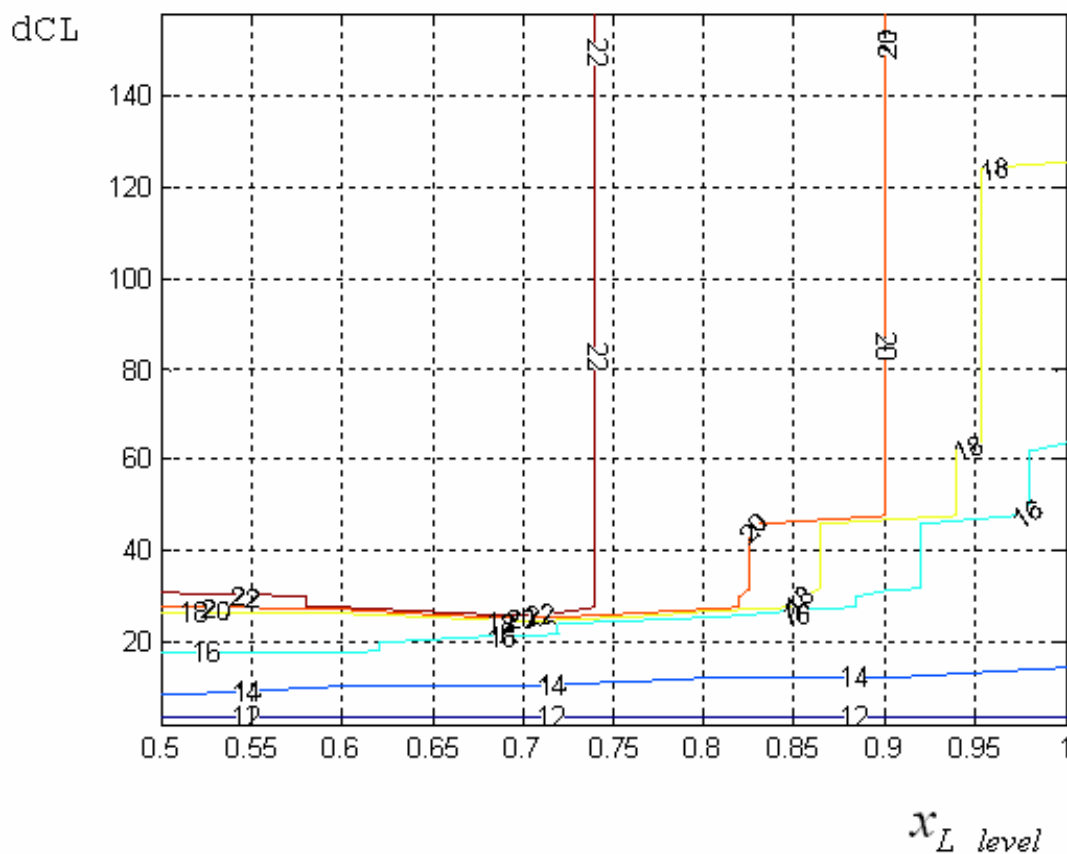


Рис. 5. Залежність $T1_c(dCL, x_{L_level})$ у вигляді топографічної мапи

Висновки. Розглянуто модель навченості льотчика в разі сумісного використання льотної та тренажерної підготовки. Знайдені оптимальні моменти часу переключення між видами підготовки за критеріями мінімуму вартості та мінімуму часу підготовки. Визначено закономірності відповідних оптимальних розв'язків у разі зміни параметрів процесів навчання (відносної вартості та заданого рівня підготовки).

Подальші дослідження слід присвятити пошуку оптимальних розв'язків для більш складних схем комбінації різноманітних видів підготовки.

Список літератури

1. Савінов О. М. Моделі оперативного прогнозування якості навчання фахівців технічного профілю / О. М. Савінов, Бобрович // зб. наук. праць ЦВСД НУОУ. – К.: НУОУ. – Вип. 1 (39). – 2009. – С. 75 – 79.
2. Савінов О. М. Багатовимірні моделі прогнозування якості навчання / О. М. Савінов, О. В. Поривай // зб. наук. праць ЦВСД НУОУ. – К.: НУОУ. – Вип. 2(40). – 2009. – С. 100 – 106.
3. Савінов О. М. Модель навченості льотчика при сумісному використанні льотної та тренажерної підготовки // Проблеми інформатизації та управління. // зб. наук. праць Ін-ту комп'ютер. технологій НАУ. – К.: НАУ. – 2010. – Вип. 1 (29). – С. 145 – 149.
4. Савінов О. М. Оптимізація вартості та часу навченості льотчика при сумісному використанні льотної та тренажерної підготовки // зб. наук. праць Військ. ін-ту КНУ ім. Тараса Шевченка. – К. ВІКНУ. – 2010. – Вип. № 25. – С. 125 – 130.
5. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). Дос 9859. – 2-е изд. ICAO. 2009.

6. *Краткое* содержание выступлений и докладов на 18-м европейском семинаре Всемирного фонда безопасности полетов (FSF) и Ассоциации авиакомпаний европейского региона (ERA) 10 июня 2006 г. – СПб., 2006. – 32 с.
7. *Вимоги* об'єднаної авіаційної влади Європи щодо свідоцтв льотного складу (JAR-FCL1, JAR-FCL2).
8. *Правила* сертифікації авіаційних навчальних закладів цивільної авіації з підготовки льотного складу в Україні. Затверджено наказом Державаслужби 17.08.05 № 601.
9. *Приложение 1* к Конвенции о международной гражданской авиации «Выдача свидетельств авиационному персоналу». – 10-е изд. ICAO. 2006.
10. *Подготовка* персонала. Правила аэронавигационного обслуживания. Дос 9868. – 1-е изд. ICAO. 2006.
11. *Желтухин В. В.* Пути совершенствования подготовки летного состава в сфере решения проблем эксплуатации современных воздушных судов // Межвуз. сб. науч. трудов. – СПб.: Акад. гражд. авиации, 1999. – Т. V – С. 222 – 224.

А. Н. Савинов

Закономерности оптимальных решений при совместном использовании летной и тренажерной подготовки

Рассмотрена модель обучаемости летчика при совместном использовании летной и тренажерной подготовки. Найдены моменты времени переключения между видами подготовки, оптимальные по критериям минимума стоимости и минимума времени подготовки. Определены закономерности оптимальных решений при вариации относительной стоимости летной подготовки и заданного уровня обучаемости.

O. N. Savinov

The regularity of optimal decisions about compatible using flight and simulator training

The model of pilot skills is observed using compatible flight and simulator training. The moments of time of switching between kinds of training which are optimal of minimal values and minimal time training criteria are found. Also the regularity of optimal decisions using variation of relative value of flight training and asked level of knowledge is determined.