

УДК 681.5. 015: 378

САВІНОВ О.М., кандидат технічних наук, доцент,  
Національний авіаційний університет

## МАТЕМАТИЧНА ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПІДГОТОВКИ ЛЬОТНОГО СКЛАДУ ЯК ЗАСІБ ОБҐРУНТУВАННЯ ДІЮЧИХ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ

*Анотація.* Проаналізовані нормативні документи щодо підготовки пілотів. Запропоновані рішення щодо математичної формалізації вимог нормативних документів.

*Ключові слова:* програма підготовки пілотів, модель, оптимізація.

*Аннотация.* Проанализированы нормативные документы регламентирующие подготовку пилотов. Предложены решения относительно математической формализации требований нормативных документов.

*Ключевые слова:* программа подготовки пилотов, модель, оптимизация.

*Summary.* Existing normative documents for pilot training are analyzed. Decisions for mathematic formalization of normative documents' demands are proposed.

*Keywords:* program of pilots training, model, optimization.

**Постановка проблеми.** Згідно прогнозів до 2018 року в світі очікується дефіцит 200 000 пілотів та 400 000 технічних фахівців, що є безпрецедентним для історії авіаційної галузі [1]. Задача для світової авіаційної спільноти: залучити та утримати компетентний персонал, виховувати нове покоління авіаційних фахівців, створити надсучасну систему підготовки пілотів, авіадиспетчерів, технічного та управлінського персоналу. Питання наявності компетентних людських ресурсів є ключовим для реалізації Глобального плану забезпечення безпеки польотів, стратегії розвитку світової авіатранспортної галузі. Першим кроком реалізації ініціатив щодо підготовки нового покоління авіаційних спеціалістів (NGAP) стало створення у травні 2009 року на рівні ICAO Цільової групи NGAP. В одному з висновків групи акцентується увага на тому, що нормативні рамки повинні забезпечувати можливість використання сучасних методологічних та технічних засобів підготовки персоналу, які орієнтовані на кваліфікаційні вимоги, ґрунтуються на накопиченому досвіді та широко використовують засоби моделювання. Група NGAP визначила, що необхідно на міжнародному рівні розробити кваліфікаційні вимоги та на їх базі проводити атестацію та видачу свідоцтв авіаційному персоналу відповідно до інших діючих документів [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На основі базових вимог (мінімальних стандартів) щодо рівнів кваліфікації пілотів, досвіду, порядку підготовки, видачі і визнання свідоцтв (Додаток 1 до Чиказької Конвенції) [2] побудовані відповідні американські та європейські вимоги [3], які використовуються національними авіаційними адміністраціями держав світу. В [2] встановлюються рівні компетенції пілота багаточленного екіпажу, для оцінки рівня знань та навичок якого пропонується використовувати критерії ефективності [4]. Документ пропонує методіку розробки навчальних програм для отримання свідоцтва пілота багаточленного екіпажу (MPL), яка базується на кваліфікаційному підході. Але вимоги перелічених нормативних документів носять декларативний характер, що не дозволяє обґрунтовувати оптимальні рішення щодо стратегії навчання льотчиків. Процеси навчання є динамічними і високо коштовними. Отже виникає потреба пов'язування показників якості та вартості навчання в єдиній процедурі.

Кваліфікаційна система MPL є найбільш перспективною за критеріями мінімуму ресурсів та часу. Незважаючи на переваги та розробку 22 державами світу нормативних документів для підтримки MPL, кваліфікаційна система підготовки ще досі не знайшла масового використання. Причини:

- 1) відсутність зрозумілих кількісних оцінок рівня кваліфікації;
- 2) відсутність моделі залежності рівня підготовки від ресурсів, що використовуються;
- 3) відсутність формалізованого підходу до обґрунтування вибору технічних засобів навчання, у тому числі FSTD;
- 4) відсутність моделі переходу від одного до іншого засобу навчання;
- 5) відсутність математичного опису навчальних характеристик тренажеру;
- 6) відсутність алгоритмів оптимізації вартості та часу навчання при забезпеченні необхідного рівня безпеки польоту.

**Метою статті** є встановлення зв'язку між нормативними документами щодо підготовки пілотів та математичними підходами до задач оцінки якості підготовки пілотів та оптимізації програм їх підготовки.

**Виклад основних положень.** Основу *програми MPL* складають: система кваліфікаційних вимог; особлива увага приділяється аспектам роботи багаточленного екіпажу; управління погрозами та помилками (ТЕМ); мінімізація шкідливого впливу збільшення долі автоматизованого управління у порівнянні з ручним; збільшення частини тренажерної підготовки; оптимізація витрачання ресурсів; нові елементи навчання: вивід літака із складного просторового стану (наприклад, режим звалювання); врахування при навчанні особливостей операційної діяльності конкретної компанії; скорочення навчання на одномоторних поршневих літаках (SEP) у порівнянні з задачами оволодіння навичками міжособистісного спілкування (управління погрозами та помилками, комунікацією, лідерство, командна робота, управління робочими навантаженнями, структуризація прийняття рішень) при використанні відповідних польотних стимуляторів (FSTD); врахування ефекту шкідливого впливу тренування на літаках SEP після досягнення певного рівня; використання одномоторних поршневих літаків (SEP) для отримання навичок, достатніх для оцінки впливу динамічних законів у реальних умовах польоту, використання загальних процедур в авіації, фразеологічному обміні з диспетчером.

**Кваліфікаційний підхід** до навчання та оцінки його результатів включає: обґрунтування необхідності в навчанні шляхом проведення системного аналізу та визначення показників, які підлягають оцінюванню; використання методу аналізу службових обов'язків та завдань для визначення стандартів ефективності, умов, в яких виконується робота, ступеня важливості задач та переліку вимог до навичок, знань та відношення до справи; визначення характерних особливостей контингенту, що навчається; визначення цілей підготовки на основі аналізу завдань та формулювання у вигляді, який дозволяє здійснювати їх спостереження та вимірювання; розробка системи тестування, яка співвіднесена з критеріями ефективності; розробка навчального плану, що ґрунтується на принципах “навчання дорослих” та орієнтований на забезпечення оптимального методу досягнення необхідного рівня кваліфікації; розробка залежного від матеріалу курсу підготовки; використання процесу постійної оцінки для забезпечення ефективності підготовки та її актуальності для здійснення польотів конкретної авіакомпанії.

Основними компонентами кваліфікаційного підходу є кваліфікаційні блоки, кваліфікаційні елементи, критерії ефективності, інструктивні вказівки з використання об’єктивних даних і оцінки, із сукупністю змінних факторів.

Документ [4] розглядає такі кваліфікаційні блоки щодо підготовки пілота багаточленного екіпажу: 1) використання принципів управління факторами загроз та помилок; 2) виконання наземних та передпольотних операцій; 3) виконання зльоту; 4) виконання набору висоти; 5) виконання крейсерського польоту; 6) виконання зниження; 7) виконання заходу на посадку; 8) виконання посадки; 9) виконання післяпосадочних та післяпольотних операцій.

Кваліфікаційні блоки, кваліфікаційні елементи, критерії ефективності визначаються шляхом аналізу службових обов’язків та завдань членів екіпажу, які містяться в керівництві з виконання польотів, та містять опис результатів, які можливо спостерігати. Основні функції (кваліфікаційні блоки) поділені на 228 кваліфікаційних елементів, для яких встановлюються критерії оцінки виконання операцій та відповідність до обов’язків членів екіпажу (де: ПК – пілот, що керує ПС; ПНК – пілот, що не керує ПС). Принципи контролю чинників загрози і помилок (ТЕМ) вважаються автономним кваліфікаційним блоком, але навички ТЕМ повинні розглядатися як невід’ємна складова восьми інших блоків, кожний з яких відповідає тому або іншому етапу польоту.

В [4] (Табл. 1) наведено приклад формування системи кваліфікаційних вимог та їхнього поєднання в кваліфікаційні блоки підготовки пілота багаточленного екіпажу в залежності від виду операційної діяльності (етапів польоту).

Таблиця 1

### Зразки кваліфікаційних блоків підготовки пілота багаточленного екіпажу

Кваліфікаційним вимогам програми MPL відповідають етапи практичної підготовки сумарною тривалістю не менше 240 годин. Процедура оволодіння знаннями, які необхідні для рівня MPL, інтегрована з відпрацюванням практичних навичок з використанням відповідних засобів льотної, тренажерної та наземної підготовки (Табл. 2). План підготовки за вимогами MPL включає чотири етапи, при реалізації яких підготовка слухачів прогресує від ПС з одним двигуном до польотів на газотурбінному ПС з декількома двигунами, багаточленным екіпажем та отриманням відмітки про тип. Для переходу на наступний етап підготовки необхідно продемонструвати досягнення цілей підготовки етапу з меншим рейтингом, що для S-подібної залежності рівня навчання  $y$  від витрачених ресурсів  $x$  [6], ілюструє Рис.1. Наприклад, перехід на другий етап навчання  $y_1(x) \rightarrow y_2(x)$  виконується лише після того, як рівень підготовки пілота за першою технологією  $y_1(x)$  стане більше певної заданої величини  $y_{1zad}$ . Аналогічно для переходу  $y_2(x) \rightarrow y_3(x)$  необхідне виконання умови  $y_2(x) > y_{2zad}$ .

Таблиця 2

Рис. 1. Залежність якості навчання від витрачених ресурсів при послідовній зміні технологій навчання

Виникає питання оцінки рівня підготовки на кожному етапі навчання та за курс в цілому. Локальні оцінки в бінарній шкалі “задовільно/незадовільно” (Табл. 1) можуть бути трансформовані лише в таку ж бінарну оцінку за курс. На практиці необхідна більш деталізація рівнів підготовки за весь курс та при прийнятті рішень щодо переходу

до наступного етапу. Представимо кваліфікаційні блоки (Табл. 1) у вигляді ієрархічної структури (Рис. 2).

Рис. 2. Структура кваліфікаційних блоків підготовки пілота

Відповідна математична залежність рівня підготовки пілота багаточленного екіпажу має вигляд  $y = \sum_{i1=1, n1}^1 \left[ \beta_{i1}, \sum_{i2=1, n2}^{1, i1} \left[ \beta_{i1, i2}, \sum_{i3=1, n3}^{1, i1, i2} (\beta_{i1, i2, i3}, y_{i1, i2, i3}(x_{i1, i2, i3})) \right] \right]$ ,

де:  $\sum_{i3=1, n3}^{1, i1, i2}$  – певна згортка (адитивна, мультиплікативна, мінімізуюча,

комбінована тощо),  $1, i1, i2$  – код гілки згортки,  $i3 = \overline{1, n3}$  – діапазон варіації індексів в згортці,  $\beta$  – вагові коефіцієнти,  $i1, i2, i3$  – індекс елементу згортки. Вид кожної згортки обирається в залежності від ступеня взаємозамінності суміжних видів підготовки (повна взаємозамінність – адитивна згортка, повна невзаємозамінність – мінімізуюча, проміжні випадки – мультиплікативна з нормованими ваговими коефіцієнтами).

В нормативних документах [2 – 4] встановлюється вимога сумарної тривалості підготовки пілота, але не вказується розподіл між фактичним нальотом та підготовкою на тренажері. Це дозволяє навчальним організаціям збільшувати долю засобів імітації польоту, але за умови безпосередньої участі відповідних повноважних органів держави та авіакомпаній-замовників в формуванні програми. Комплексні навчально-тренувальні пристрої (FSTD) повинні відповідати державним вимогам та затверджуватися повноважним органом. На даний час найбільш перспективним є стандарт [5], з яким гармонізовані або найближчим часом будуть гармонізовані вимоги до авіаційних тренажерів більшості розвинутих країн світу. Аналогічне питання виникає щодо розподілу навчального навантаження фактичного нальоту між різними типами ПС. Необхідно будувати оптимальну програму курсу підготовки, яка визначає послідовність видів підготовки та оптимальні моменти переключення між ними.

Для всіх видів послідовного виконання кваліфікаційних блоків актуальним є визначення оптимального переключення між окремими видами підготовки. Для S-подібних залежностей ефекту навчання від витрачених на навчання ресурсів ця задача вирішувалась для оптимізації за критерієм мінімуму часу підготовки та за критерієм мінімуму видатків на підготовку [6]. Аналогічним чином може вирішуватись й задача оптимізації програми навчання за іншими критеріями. В розглянутому випадку [6] виконана оптимізація співвідношення між льотною та тренажерною підготовкою. Для цього використана логістична модель навченості льотчика при сумісному використанні льотної та тренажерної підготовки (Рис. 1):  $dy = dy_L + dy_T - dy_{Tm}$ ;

$$\frac{dy_L}{dt} = k_L y_L (a_L - y_L); \quad \frac{dy_T}{dt} = k_T y_T (a_T - y_T); \quad \frac{dy_{Tm}}{dt} = k_{Tm} y_{Tm} (a_{Tm} - y_{Tm}),$$

де:  $y$  – загальний рівень навченості льотчика (КРІ);  $y_L, y_T$  – рівні навченості льотчика, які досягнуті завдяки відповідно льотної та тренажерної підготовок;  $k_L, a_L, k_T, a_T, k_{Tm}, a_{Tm}$  – коефіцієнти;  $t$  – час. Враховане, що крім позитивного ефекту тренажерна підготовка має негативний вплив  $y_{Tm}$  на загальну навченість льотчика  $y$  через виникнення, в умовах відсутності реального впливу зовнішніх факторів, відчуття надлишкової самовпевненості, необґрунтованого ризику поведінки тощо. При використанні лише тренажерної підготовки складова  $y_{Tm}$  знижує загальний рівень підготовки  $y$  за логістичним законом, але з початком льотної підготовки її дія за тим же законом зменшується. Модель апробована для двох видів

підготовки пілотів, але може бути також використана для довільної кількості видів підготовки з функціонально довільним порядком застосування.

### **Висновки.**

Існуючі нормативні документи щодо підготовки пілотів носять декларативний характер і потребують поєднання з математичними процедурами для оперативної достовірної оцінки рівня підготовки пілотів та для побудови оптимальних програм підготовки пілотів. Запропоновані рішення дозволяють зробити перехід до математичної формалізації вимог нормативних документів з метою подальшої оптимізації процесу підготовки пілотів.

**Напрями подальших досліджень** повинні бути спрямовані на математичну формалізацію основних кваліфікаційних елементів MPL (погроз, помилок та небажаних станів) та процесів, які їх пов’язують.

### **Використана література**

1. Opening remarks by the President of the Council of the International Civil Aviation Organization (ICAO), Mr. Roberto Kobeh Gonzalez: Next Generation of Aviation Professionals Symposium. – Montreal, 2 March 2010.

2. Приложение 1 к Конвенции о международной гражданской авиации “Выдача свидетельств авиационному персоналу”. – [10-е изд.]. – Международная организация гражданской авиации ICAO, 2006.

3. Вимоги об’єднаної авіаційної влади Європи щодо свідоцтв льотного складу (JAR-FCL1, JAR-FCL2).

4. Руководство по критериям оценки авиационных тренажеров. Doc 9625. – [3-е изд.]. – Международная организация гражданской авиации ICAO, 2009.

5. Савінов О.М. Моделювання та управління якістю підготовки авіаційних фахівців / Савінов О.М. – К. : Вид-во Нац. авіац. ун-ту “НАУ-друк”, 2010. – 172 с.

~~~~~ \* \* \* ~~~~~