

УДК 681.5. 015: 378

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

## **ЗВ'ЯЗОК ДІЮЧИХ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ТА МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ПІДГОТОВКИ ЛЬОТНОГО СКЛАДУ**

***Анотація.** Проаналізовані існуючі в світі нормативні документи щодо підготовки пілотів. Запропоновані рішення щодо математичної формалізації вимог нормативних документів з метою подальшої оптимізації програм підготовки пілотів.*

***Аннотация.** Проанализированы существующие в мире нормативные документы, регламентирующие подготовку пилотов. Предложены решения относительно математической формализации требований нормативных документов с целью последующей оптимизации программ подготовки пилотов.*

***Summary.** Existing world's normative documents for pilot training are analyzed. Decisions for mathematic formalization of normative documents' demands are proposed for next pilot training processes optimization.*

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

*Постановка проблеми.* “Авіація – світ можливостей для кваліфікованого авіаційного персоналу”. Ця цитата із виступу Президента Ради Міжнародної організації цивільної організації (ІСАО) Роберто Кобе Гонсалеса відображає величезні перспективи для молоді, яка сьогодні обирає для себе кар’єру в авіації. З одного боку, відбувається значне скорочення персоналу пенсійного віку, з іншого – стійке зростання обсягів авіап перевезень, вводяться до експлуатації тисячі сучасних повітряних суден (ПС), впроваджуються нові технології. Якщо система кадрового забезпечення не буде змінена, то згідно з прогнозами 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 ІСАО Цільової групи NGAP. Фахівцями групи NGAP визначено, що ряд авіаційних професій потребує розробки кваліфікаційних вимог. В одному з висновків групи акцентується 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]. Встановлено завдання до кінця 2011 року розробити кваліфікаційні вимоги для командирів ПС, інструкторів великих ПС (масою більше 5700 кг) з газотурбінними двигунами.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Базові вимоги (мінімальні стандарти) щодо рівнів кваліфікації пілотів, досвіду, порядку підготовки, видачі і визнання свідоцтв розглянуті в Додатку 1 до Чиказької конвенції [2]. На основі мінімальних стандартів побудовані американські та європейські вимоги [3] щодо видачі свідоцтв льотному персоналу, які використовуються національними авіаційними адміністраціями держав світу. У [2] встановлюються рівні компетенції пілота багаточленного екіпажу, для оцінки рівня знань та навичок якого пропонується використовувати критерії ефективності [4]. Документ [4] пропонує методiku 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 приймати обґрунтовані оптимальні рішення щодо стратегії навчання льотчиків. Тим більше що всі процеси навчання є динамічними і потребують великих фінансових витрат. Виникає потреба пов'язування показників якості та вартості навчання в єдиній нетривіальній 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. З початку впровадження по нинішній час загальна кількість пілотів, які підготовлені та готуються згідно з програмою, склало 400 осіб, що в 100 разів менше реальних потреб світової комерційної авіації. 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 діючими нормативними документами щодо підготовки пілотів та математичними підходами до задач оцінки якості підготовки пілотів та оптимізації програм їх підготовки.

*Виклад основного матеріалу.* Основу програми MPL складають: система кваліфікаційних вимог; особлива увага аспектам роботи багаточленного екіпажу; управління загрозами та помилками (ТЕМ); мінімізація шкідливого впливу збільшення частки автоматизованого управління порівняно з ручним; збільшення частини тренажерної підготовки; оптимізація витрачання ресурсів; нові елементи навчання: вивід літаку із складного просторового стану (наприклад, режим звалювання); врахування при навчанні особливостей операційної діяльності конкретної компанії; скорочення навчання на одномоторних поршневих літаках (SEP) порівняно із задачами оволодіння навичками міжособистісного спілкування (управління загрозами та помилками, комунікацією, лідерство, командна робота, управління робочими навантаженнями, структуризація прийняття рішень) при використанні відповідних польотних симуляторів (FSTD); врахування ефекту шкідливого впливу тренування на літаках SEP після досягнення певного рівня; використання одномоторних поршневих літаків (SEP) для надбання 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 оцінці; використання методу аналізу службових обов'язків та завдань для визначення стандартів ефективності умов у яких виконується робота, ступеня важливості задач та переліку вимог до навиків, знань та ставлення 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 та сукупність 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 взльоту; 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 їх поєднання в кваліфікаційні блоки підготовки пілота багаточленного екіпажу залежно від виду операційної діяльності (етапів польоту).

**Етапи практичної підготовки.** 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 у від витрачених ресурсів  $x$  [6] ілюструє Рис.1.

Таблиця 1

## Зразки кваліфікаційних блоків підготовки пілота багаточленного екіпажу

	обов'язки	критерій оцінки
<b>1. Застосування принципів контролю чинників загроз і помилок</b>		
1.1. Виявлення загрози.	ПК/ПНК	
1.2. Контроль чинників загрози.	ПК/ПНК	
1.3. Виявлення помилки.	ПК/ПНК	
1.4. Контроль чинників помилки.	ПК/ПНК	
1.5. Визначення небажаного стану повітряного судна.	ПК/ПНК	
1.6. Виведення повітряного судна з небажаного стану.	ПК/ПНК	
<b>4. Виконання набору висоти</b>		
<b>4.0. Виявлення та контроль потенційних загроз і помилок</b>		
<b>4.1. Виконання стандартної схеми вильоту за приладами/навігація на маршруті:</b>		
4.1.1. Виконання інструкцій дозволу на виліт та відповідних процедур;	ПК	Задовільно / незадовільно
4.1.2. Демонстрація знання місцевості;	ПК/ПНК	
4.1.3. Контроль точності навігації;	ПК/ПНК	
4.1.4. Коректування параметрів польоту залежно від метеоумов та умов повітряного руху;	ПК	
4.1.5. Здійснення зв'язку і координації із службою ОПР;	ПНК	
4.1.6. Дотримання мінімальних абсолютних висот;	ПК/ПНК	
4.1.7. Вибір належного рівня автоматичного режиму;	ПК	
4.1.8. Виконання процедур зі встановлення висотоміра.	ПК/ПНК	
<b>4.6. Зв'язок з членами кабінного екіпажу, пасажирями і авіакомпанією:</b>		
4.6.1. Обмін відповідною інформацією з членами кабінного екіпажу;	ПК	Задовільно / незадовільно
4.6.2. Обмін відповідною інформацією з авіакомпанією;	ПК/ПНК	
4.6.3. Оголошення інформації для пасажирів в міру необхідності.	ПК	

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  $y_2(x) > y_{2zad}$ .

Закономірно виникає питання стосовно оцінки рівня підготовки на кожному етапі навчання та за курс навчання в цілому.

Рівень підготовки пілота не є просто сумою оцінок за етапами. Локальні оцінки рівня підготовки в бінарній шкалі “задовільно / незадовільно” (Табл. 1) можуть бути трансформовані лише в таку ж бінарну оцінку за весь курс навчання.

Таблиця 2

Схематичний план підготовки пілота багаточленного екіпажу

Етапи підготовки	Предмети підготовки	Засоби льотної та тренажерної підготовки (вимоги до мін. рівня)		Засоби наземної підготовки
Просунутий	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CRM;</li> <li>- Відпрацювання посадки;</li> <li>- Всепогодні польоти;</li> <li>- LOFT;</li> <li>- Особливі процедури;</li> <li>- Звичайні процедури.</li> </ul>	ПС з кількома газотурбінними двигунами. FSTD, тип IV.	12 циклів в якості ПК	Система СВТ; Електронні засоби навчання; Тренажери
Проміжний	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CRM;</li> <li>- LOFT;</li> <li>- Особливі процедури;</li> <li>- Звичайні процедури;</li> <li>- Багаточленний екіпаж;</li> <li>- Звичайні процедури;</li> <li>- Польоти по приладах.</li> </ul>	FSTD, тип III.	ПК/ПНК	для окремих процедур; Аудиторні заняття.
Базовий	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CRM;</li> <li>- Доповнення ПК/ПНК;</li> <li>- Польоти за маршрутом по приладах;</li> <li>- Відновлення керуванням ПС;</li> <li>- Польоти в нічний час;</li> <li>- Польоти по приладах.</li> </ul>	ПС з одним або кількома двигунами. FSTD, тип II.	ПК/ПНК	
Основні навички пілотування	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CRM;</li> <li>- Польоти за маршрутом по приладах;</li> <li>- Самостійний польот;</li> <li>- Польоти по основних приладах;</li> <li>- Принципи польоту;</li> <li>- Процедури в кабіні.</li> </ul>	ПС з одним або декількома двигунами. FSTD, тип I.	ПК	

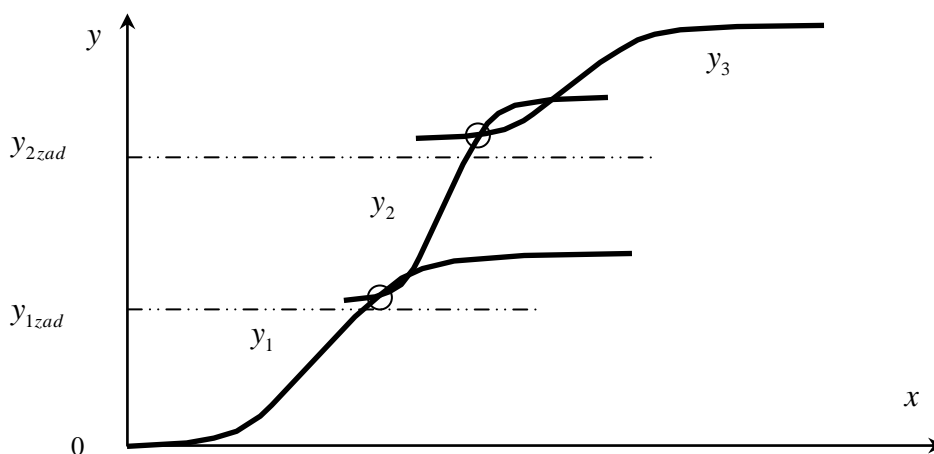


Рис. 1. Залежність якості навчання від витрачених ресурсів при послідовній зміні технологій навчання

На практиці необхідна більш детальна диференціація рівнів підготовки пілотів як за весь курс, так і при прийнятті рішень щодо переходу до наступного етапу навчання. Для розв’язання питання представимо кваліфікаційні блоки (Табл. 1) у вигляді ієрархічної структури (Рис. 2). Кількість окремих елементів та ієрархічних рівнів може бути збільшена відповідно до ступеня деталізації кваліфікаційних блоків.

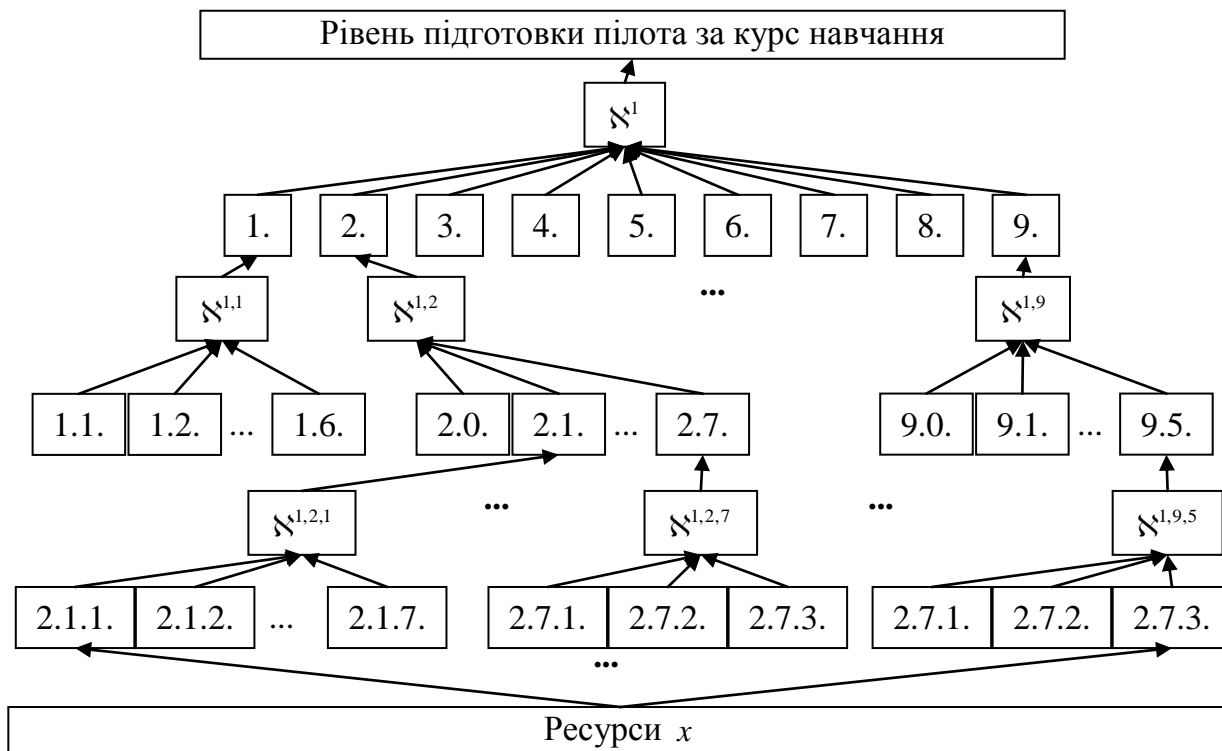


Рис. 2. Структура кваліфікаційних блоків підготовки пілота

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

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 залежно від ступеня взаємозамінності суміжних видів підготовки (повна взаємозамінність – адитивна згортка, повна невзаємозамінність – мінімізуюча, проміжні випадки – мультиплікативна з нормованими ваговими коефіцієнтами).

**Співвідношення між різними видами підготовки.** В нормативних документах щодо видачі свідоцтва пілота багаточленного екіпажу (MPL) [2 – 4] встановлюється вимога сумарної тривалості підготовки пілота, але не вказується розподіл між фактичним нальотом та підготовкою на тренажері. Це дозволяє навчальним організаціям збільшувати частку засобів імітації польоту, але за умови безпосередньої участі відповідних повноважних органів держави та авіакомпаній-замовників у 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 льоту між різними типами ПС. Тому, крім вирішення задачі оцінки рівня підготовки пілота, необхідно вирішувати задачу побудови оптимальної програми курсу підготовки, яка визначає послідовність видів підготовки та оптимальні моменти переключення між ними. Можливі такі види послідовності різних кваліфікаційних блоків: послідовне жорстко задане, виходячи зі змісту кваліфікаційного блоку (рис. 3 а); послідовне жорстко задане, виходячи з інших умов, які обумовлюють ефективність підготовки (рис. 3 б); паралельне (рис. 3 в); послідовне довільне (рис. 3 г); комбіноване (рис. 3 г).

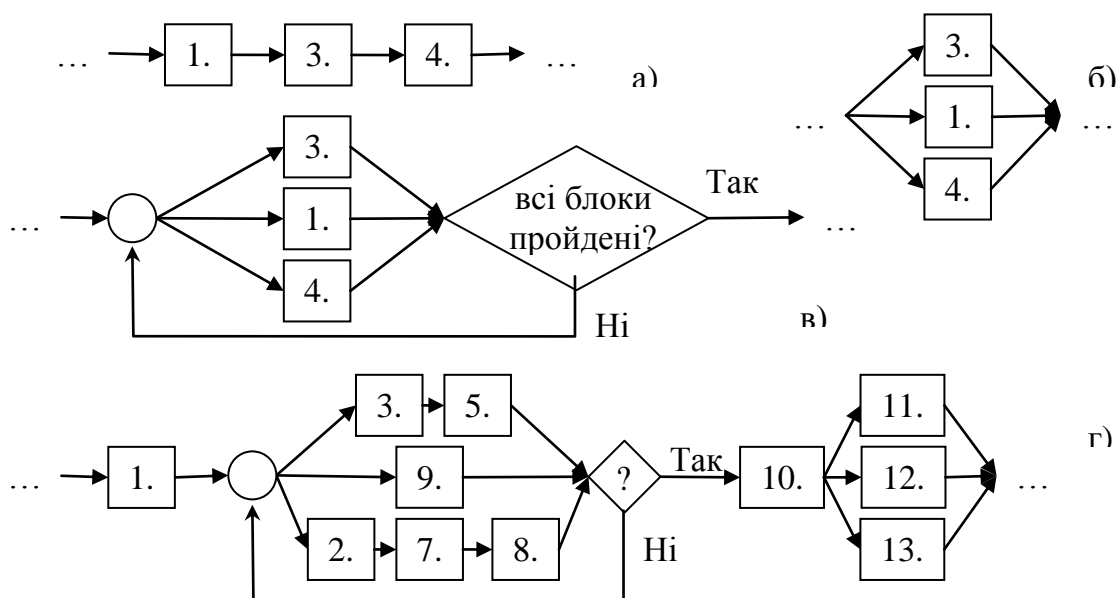


Рис. 3. Види послідовності кваліфікаційних блоків

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. 4):

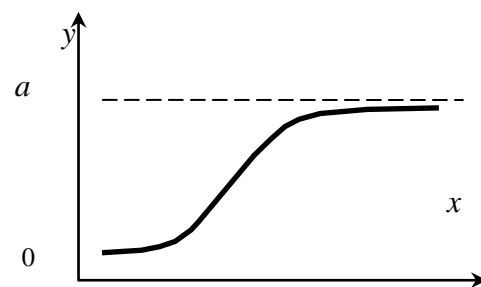


Рис. 4. Залежність якості навчання від витрачених ресурсів

$$dy = dy_L + dy_T - dy_{Tm};$$

$$\frac{dy_L}{dt} = k_L y_L (a_L - y_L);$$

$$\frac{dy_T}{dt} = k_T y_T (a_T - y_T);$$

$$\frac{dy_{Tm}}{dt} = k_{Tm} y_{Tm} (a_{Tm} - y_{Tm}),$$

де:  $y$  – загальний рівень навченості льотчика (КРІ),  $y_L$ ,  $y_T$  – рівні навченості льотчика, які досягнуті завдяки відповідно льотній та тренажерній підготовці,  $k_L$ ,  $a_L$ ,  $k_T$ ,  $a_T$ ,  $k_{Tm}$ ,  $a_{Tm}$  – коефіцієнти,  $t$  – час. Враховано, що, крім позитивного ефекту, тренажерна

підготовка має негативний вплив  $u_{Tm}$  на загальну навченість льотчика у через виникнення в умовах відсутності реального впливу зовнішніх факторів відчуття надлишкової самовпевненості, необґрунтованого ризику поведінки тощо (зверніть увагу на аналогію з пп.4, 9 основ програми MPL в даній статті). При використанні лише тренажерної підготовки складова  $u_{Tm}$  знижує загальний рівень підготовки у 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.** Головним для забезпечення стійкого розвитку авіаційній галузі на даний час є усунення дефіциту льотних кадрів. Існуючі нормативні документи носять декларативний характер і потребують поєднання нормативних вимог з математичними процедурами для оперативної достовірної оцінки рівня підготовки пілотів та для побудови оптимальних програм підготовки пілотів.

Запропоновані в статті 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. Подготовка персонала. Правила аэронавигационного обслуживания. Doc 9868. – [1-е изд.]. – Международная организация гражданской авиации ICAO, 2006.

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

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

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