

МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ МОДЕРНІЗАЦІЇ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ ІМУННИХ АЛГОРИТМІВ

Запропонований метод розв'язання задачі управління проектами модернізації авіаційної техніки на основі імунних алгоритмів дозволяє отримати її рішення при менших витратах часу, а також при урахуванні показників невизначеності

Ключові слова: управління проектами, модернізація авіаційної техніки, імунні алгоритми.

Предложенный метод решения задачи управления проектами модернизации авиационной техники на основе иммунных алгоритмов позволяет получить ее решение при меньших расходах времени, а также при учете показателей неопределенности.

Ключевые слова: управление проектами, модернизация авиационной техники, иммунные алгоритмы.

The method of decision of task of management the projects of modernization of aerotechics is offered on the basis of immune algorithms allows to get its decision at the less charges of time, and also at the account of indexes of vagueness

Key words: management, modernization of aerotechics, immune algorithms, projects.

В сучасних умовах модернізація авіаційної техніки (АТ) є одним із основних напрямів технічної політики багатьох держав світу [1, 2]. Основною перевагою модернізації є можливість поліпшення технічних і якісних характеристик АТ, розширення її можливостей при витратах майже на порядок менших, ніж закупівля нової техніки [1...3]. У зв'язку з моральним та фізичним старінням АТ в Україні, хронічним браком коштів, актуальність її модернізації в сучасних умовах значно зростає.

Однією з важливих задач модернізації є задача управління проектами модернізації АТ, від розв'язання якої залежать результати її проведення при мінімізації витрат ресурсів.

Розв'язок поставленої задачі ускладнюється тим, що модернізація в Україні проводиться в умовах невизначеного фінансування [4...6], за відсутності працездатних методів та алгоритмів для вирішення такого класу задач. Цей факт і обумовлює необхідність розробки методичного апарату, який дозволить обґрунтовано здійснювати підтримку прийняття рішень в умовах невизначеного фінансування процесів модернізації АТ під час її планування та проведення.

У зв'язку з цим, метою цієї статті є розробка методу розв'язання задачі управління проектами модернізації АТ на основі імунних алгоритмів в умовах невизначеного фінансування. Застосування даного методу дозволить підвищити достовірність результатів планування і проведення модернізації АТ та обґрунтованість практичних рекомендацій в умовах невизначеності фінансування.

З метою вирішення поставленої задачі досліджень запропоновано розглядати модернізацію з позиції системного підходу на рівні парку АТ і в якості об'єкта досліджень виділити авіаційний

комплекс (АК), який, крім повітряного судна (ПС), включає засоби наземного обслуговування, аеродромно-технічного забезпечення, зв'язку та управління.

Математичну формалізацію задачі досліджень проведемо для заданої сукупності кінцевих множин з їх характеристиками:

- завдань та можливостей, вирішення яких мають забезпечити АК після модернізації;
- типів АК, що підлягають модернізації;
- виробничих потужностей авіаційних підприємств, на яких буде проводитися модернізація;
- можливих варіантів модернізації за типами АК;
- обсягів фінансування;
- термінів надходження фінансів.

У якості факторів, що мають невизначеність, розглянути обсяги і терміни фінансування.

У зв'язку з наявністю невизначеностей у задачі управління проектами модернізації АТ розглянуто стохастичну постановку наукової задачі досліджень, яка полягає у знаходженні для визначеного типу АК такого i -го оптимального варіанта модернізації, що забезпечує максимум математичного очікування цільової функції підвищення коефіцієнта потенційних можливостей парку АК після модернізації для невизначених факторів з урахуванням обмежень.

Вирішити цю задачу з урахуванням невизначеності надзвичайно складно, а відомі методи її вирішення (експертного, адаптивного і компромісного рішення) на основі методів стохастичного програмування мають ряд обмежень та недостатньо розроблені.

Для процесу модернізації АТ характерним є широка номенклатура ресурсів та робіт, пов'язаних з різними типами АТ та варіантами модернізації. До ресурсів відносяться: ресурсе запасних частин, видаткові матеріали, людські ресурси, фінансові та часові ресурси. У зв'язку з можливою невизначеністю цих ресурсів виникають умови нестабільності проведення модернізації, що значно ускладнює організацію та планування даного процесу [3,4].

У загальному вигляді план модернізації парку АТ можливо визначити множиною характеристик:

$$Pl(x, u, \xi), \quad (1)$$

де

$\{x\}$ – визначені характеристики, що складаються із кінцевих елементарних множин та характеризуються вектором параметрів:

- $\{A\} \neq \emptyset$ множина μ -х типів повітряних суден (ПС), які підлягають модернізації;
- $\{B\} \neq \emptyset$ множина характеристик j -х варіантів модернізації μ -х типів ПС;
- $\{D\} \neq \emptyset$ множина характеристик виробничих потужностей підприємства (ВПП), на яких планується проведення модернізації;
- $\{E\} \neq \emptyset$ множина характеристик плану модернізації.
- $\{u\}$ – закон розподілу фінансових ресурсів $u(t)$,
- $\{\xi\}$ – характеристики невизначеності у процесі проведення модернізації.

Таким чином, задача зводиться до знаходження такого плану $Pl(x, u, \xi)$ оптимального розподілу ресурсів $u = \varphi(u_1, u_2, \dots, u_j)$, $u_{opt} \in u$ за μ типами ПС з урахуванням усіх варіантів модернізації за цими типами ПС, який би забезпечував максимальний приріст потенціальних можливостей усього парку АТ та задовольняв обмеженням на фінансовий та часовий ресурси:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n S_i \leq S_{зад} \\ T_{заг} \leq T_{зад} \end{cases}, \quad (2)$$

де $S_{зад}$ – величина фінансових ресурсів, виділена на всю програму модернізації;

$T_{заг}$, $T_{зад}$ – час проведення модернізації, загальний та передбачений програмою модернізації відповідно.

Згідно з вищесказаним, процес синтезу плану проведення модернізації АТ можна розраховувати на основі наступної моделі (рис. 1), де N_i – різні типи ПС, V_{ij} – варіанти модернізації певного типу ПС:

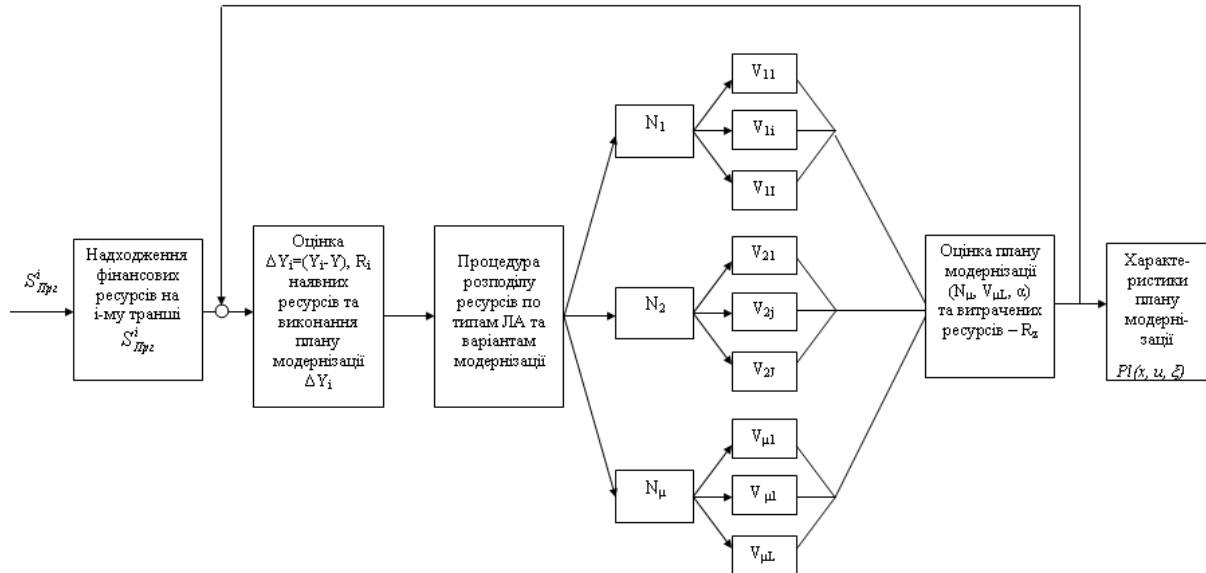


Рис. 1. Модель формування плану модернізації парку АТ

При надходженні фінансових ресурсів для виконання модернізації парку АТ проводиться порівняльна оцінка наявних ресурсів та виконання плану модернізації. З урахуванням ходу виконання робіт проводиться процедура розподілу ресурсів за типами ПС та варіантами їх модернізації. На наступному етапі розраховується результати виконання плану за останнім розподілом ресурсів, та за допомогою зворотного зв'язку уточнюється оцінка виконання (відставання) плану. Її результати можуть привести до повторення процедури розподілу ресурсів, що, у свою чергу, викликає наступну ітерацію уточнення. Процедура оптимізації плану розподілу ресурсів припиняється при найменшому розходженні результатів, які прогноуються.

Для оптимізації розподілу ресурсів у процесі модернізації на основі даної моделі і скорочення часу прийняття рішень розроблена система підтримки прийняття рішень управління проектами модернізації АТ. На її основі при виникненні змін при надходженні ресурсів (умова невизначеності) можливо провести їх оперативне внесення та перерахувати у реальному масштабі часу результати планування при модернізації АТ. Тим самим нейтралізуються помилки, які виникають у процесі невизначеності.

Важливою задачею при плануванні процесу модернізації АТ є розподіл ресурсів між різними ВПП, на яких буде проходити модернізація парку АТ. Одним із результатів планування є календарний план усього процесу, який включає розклад робіт по ВПП за типами АТ з урахуванням термінів виконання всієї програми модернізації парку АТ. При цьому потрібно розробити необхідні умови для забезпечення рівномірної модернізації різних типів ПС та виконати її в заданий термін.

Задача планування процесу модернізації АТ вирішується на основі методів управління проектами та розподілу і планування наявних ресурсів. Однією із найбільш поширених задач при цьому є задача розробки розкладів, методи дослідження якої достатньо розроблені. Однак розробка розкладу вирішення задачі модернізації АТ є NP – складною задачею, яка пов'язана із

застосуванням методів повного перебору, гілок та границь або іншими, застосування яких на практиці значно ускладнено через їх працесміність.

З метою усунення вказаних недоліків запропоновано використати методичний підхід для розв'язання задачі управління проектами модернізації АТ на основі алгоритму клонального відбору [6]. Представлений підхід має два етапи. На першому етапі проводиться розподіл робіт з модернізації АТ за місцями їх проведення та типами АТ. На другому – мінімізація ресурсів і термінів виконання операцій модернізації або максимізація кількості об'єктів АТ, які пройшли модернізацію.

Для розв'язання даної задачі був обраний алгоритм клонального відбору, який відноситься до імунних алгоритмів.

Побудова клонального алгоритму потребує визначення способу подання завдання у вигляді антитіл (індивідуумів), функції афінності та процедури репродукції, що включає оператори відбору, клонування і мутації антитіл. Результати розв'язання завдання подаються у вигляді тримірної матриці, осями якої відповідно є: типи ПС, розподілені стосовно виробничих потужностей підприємств, на яких виконується модернізація; варіанти модернізації кожного типу ПС; роботи з виконання процесу модернізації. Вигляд даної структури антитіла приведено на рис. 2, 3:

		μ_1	μ_2	μ_3
D_1	N_1	4	5	XXX
	N_2	9	2	2
	N_3	XXX	6	3
D_2	N_1	6	5	XXX
	N_2	3	3	5

Рис. 2. Призначення характеристик за різними типами ПС (N_i) відповідно до ВПП (D) та з урахування різних варіантів модернізації (μ)

W1		W2			W3		W4		W5		
μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_3	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_1	μ_2	μ_3
0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0

Рис. 3. Розподіл робіт (W) з виконання етапів модернізації із урахуванням різних варіантів модернізації ПС (μ)

Для реалізації алгоритму клонального відбору для розв'язання задач розробки проектів (планів) модернізації всі роботи з модернізації АТ та ресурсні обмеження моделюються як антитіла. У цьому випадку задаються вимоги, щоб значення усіх генів антитіла були унікальними, тобто кожна робота або ресурс повинні бути включені у розклад один раз і при цьому повинні бути виконані всі етапи проекту модернізації АТ.

Антитіло будується з набору евристичних правил, які використовуються для розв'язку задачі. Клональний відбір у даному випадку зводиться до відбору кращого антитіла з послідовністю евристик, які забезпечують оптимальне значення цільової функції. Алгоритм ідентифікує кращі антитіла відповідно до їх афінності та проводить інтелектуальний пошук в області заданих антитіл з метою знаходження кращого рішення. Цей процес виконується неодноразово, і інформація, яку ми отримуємо від кожного покоління, використовується як зворотний зв'язок, щоб зберегти та розмножити кращі індивідууми.

Таким чином, для заданих списків ресурсів і матеріалів, переліку робіт і їх властивостей, потреб кожного типу робіт у ресурсах і матеріалах будується план модернізації АТ і проводиться аналіз цих потреб. Це завдання можна розв'язати ітеративно, вибираючи на кожному кроці етап роботи, який задовольняє обмеженням і певному правилу.

План модернізації будемо оцінювати за двома параметрами – загальний приріст потенціальної ефективності всього авіаційного парку і вартість робіт проекту; при цьому в якості цільової функції буде використовуватися добуток вартості й приросту ефективності.

При рішенні завдання реалізований наступний принцип побудови розкладу: на кожному етапі роботи розбиваються на дві множини – «відкриті» і «закриті». «Відкриті» роботи – такі, які можуть бути включені на поточному кроці в розклад, тобто вони або не мають робіт попередників, або їх попередники вже включені в розклад. «Закриті» роботи – такі, які не можуть бути включені в розклад на даному кроці. З «відкритих» робіт за допомогою деяких правил вибирається робота. Правила можуть бути наступними. «Вибрати роботу» [7].:

1. З найменшою тривалістю.
2. З найбільшою тривалістю.
3. Найдорожчу.
4. найдешевшу.
5. Що має найбільше число послідовників.
6. Що має найбільше число обмежень за стартом і фінішем.
7. Приносить найвищий приріст потенціальної можливості по конкретному типу АТ.

Крім того, є 2 правила для ресурсів: (Н) дозволена або (І) заборонена понаднормова робота. Кожне правило може виявитися вигідним у певних випадках:

- найкоротшу за тривалістю роботу добре вибирати тоді, коли робота-претендент на включення в розклад має тип «фіксована кількість». Якщо така робота на певному етапі є короткою, то потрібно використовувати цей момент, тому що при недоліку ресурсів вона може розтягтися, що може вплинути на загальну тривалість проекту, особливо якщо в проекті дана робота пов'язана з іншими відношенням «попередник-послідовник» і виступає в ролі попередника;
- найдовшу роботу слід вибирати у випадках, якщо робота-претендент є роботою з типом тривалості «обумовлена завданням». У випадку нестачі ресурсів початок такої роботи може бути затриманий, що спричинить затримку наступних за нею робіт і всього проекту, при цьому найдовші роботи необхідно вибирати раніше, тому що на перших етапах завантаження ресурсів ще невелике;
- найдешевшу роботу вигідно вибирати тоді, коли пріоритетною характеристикою проекту є вартість;
- заборона/дозвіл понаднормової роботи ресурсів може вплинути як на тривалість проекту, так і на його вартість. З одного боку, понаднормова робота дозволяє скоротити тривалість окремих робіт і проекту в цілому, з іншого боку, при понаднормовій роботі зростають витрати на ресурси;
- роботу з найбільшою кількістю обмежень вигідно вибирати, якщо за порушення обмежень установлений великий штраф.

У результаті можливих комбінацій правил для робіт і ресурсів щодо модернізації АТ одержано 30 евристичних правил для вибору наступної роботи. Кожна евристика може бути застосовано кілька раз, необов'язкове застосування всіх евристик при рішенні завдань, не існує яких-небудь залежностей між евристичними правилами. Побудова варіанта модернізації АТ в цьому випадку базується на пошуку послідовності евристик, що забезпечує оптимальне значення цільової функції.

Алгоритм формування розкладу робіт включає послідовність наступних кроків:

1. Складання списку «відкритих» робіт, тобто тих, які на даному кроці алгоритму можуть бути включені, з урахуванням того, щоб вони або не мали попередників, або щоб їх попередники вже входили в розклад проекту.

2. Перевірка кожної роботи на наявність обмеження «старт не раніше, ніж...». Якщо таке обмеження є, то необхідно перенести роботу на цю дату.

3. Залежно від типу евристики, потрібно виконати наступні перевірки:

3.1. Якщо тип евристики – «за кількістю обмеження не пізніше, ніж...», то потрібно порахувати кількість таких обмежень і вибрати ту роботу, у якій кількість таких обмежень максимальна.

3.2. Якщо тип евристики – «найбільший обсяг виконання», то потрібно порахувати для кожної роботи, який обсяг процесу вона виконує, і вибрати ту, яка робить найбільший.

3.3. Якщо тип евристики – «найбільша кількість послідовників», то для кожної роботи потрібно порахувати, скільки в неї робіт-послідовників, і вибрати ту роботу, у якій ця кількість максимальна.

3.4. Для всіх інших розглянутих евристик необхідно змоделювати роботу ресурсів, це потребує виконання наступних дій:

3.4.1. Визначити тип роботи й залежно від типу роботи виконати наступні дії:

3.4.1.1. Якщо робота – «фіксована тривалість», то потрібно, починаючи від дати старту роботи й протягом усієї її тривалості, перевірити, чи доступні всі необхідні ресурси. Якщо ресурсів недостатньо, то дата старту роботи переноситься, і заново проводиться моделювання ресурсів.

3.4.1.2. Якщо робота «фіксована кількість», то потрібно, починаючи від прогнозованої дати старту, перевіряти завантаженість ресурсів і враховувати їх вартість, а також потрібно звернути увагу на те, якою при цьому стане тривалість роботи, доти, поки не буде задоволена потреба роботи в ресурсі.

3.4.1.3. Якщо робота типу «Обсяг», то для неї потрібно виконати ті ж дії, що й для роботи типу «фіксована кількість», але умова закінчення роботи – це задоволення потреби не в ресурсах, а у виконанні етапу модернізації.

3.4.2. Вартість робіт корегується з урахуванням призначених на них матеріалів.

3.4.3. Вибрати роботу, що задовольняє правило, заданому евристикою.

Оцінка варіанта плану модернізації АТ починається з перевірки на задоволення їм прийнятих обмежень. Якщо план не задовольняє цим обмеженням, то йому призначається штраф, який знижує його афінність у популяції.

При додаванні роботи в розклад потрібно змоделювати споживання роботою ресурсів. Цей процес має свої особливості залежно від типу роботи. Але в цілому він аналогічний до моделювання споживання ресурсів на етапі вибору роботи. Різниця полягає в тому, що, крім оцінки вартості й тривалості роботи, необхідно зберегти інформацію про завантаження ресурсу, щоб вона була врахована при виборі наступної роботи.

Результати розрахунку параметрів проекту модернізації АТ в середовищі Microsoft Project дозволяють визначити проблемні місця у проекті. Вони пов'язані з недоліками в розподілі ресурсів, які приводять до появи проміжків з очікуванням ($t_{оч}$), що, у свою чергу, приводить до зростання термінів виконання проекту. На рис. 4. наведено приклад наявності проміжків з очікуванням, що приводить до збільшення терміну проведення загального комплексу робіт.

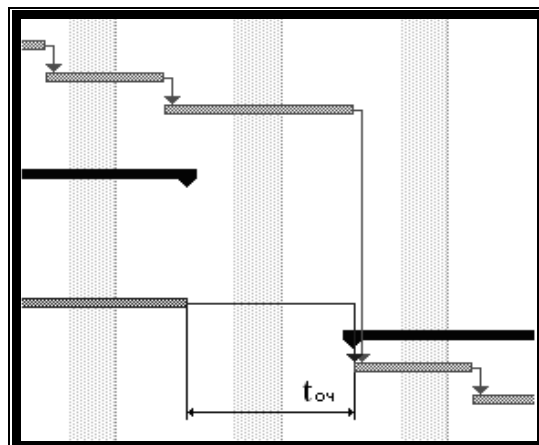


Рис. 4. Фрагмент діаграми Ганта з нераціональним розподілом ресурсів

При знаходженні таких проблемних місць виконується процедура оптимізації проекту, яка базується на перерозподілі наявних ресурсів між зразками АТ, що модернізуються. В результаті відбувається мінімізація часу очікування (рис. 5).

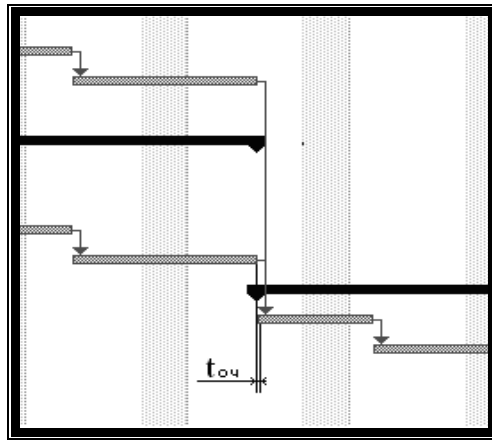


Рис. 5. Фрагмент діаграми Ганта після перерозподілу ресурсів

Результатом оптимізації плану модернізації АТ є скорочення часу очікування $t_{оч}$ до деякого мінімального значення і, відповідно, зменшення витрат часу на виконання проекту модернізації в цілому.

Таким чином, запропонований метод розв'язання задачі управління проектами дозволяє проводити мінімізацію термінів виконання планів робіт з модернізації і на їх основі розробляти практичні рекомендації із планування заходів в умовах невизначеності фінансування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Клишин Ю. Ставка на модернизацию и многофункциональность // Вестн. воздушного флота. – 1999. – № 1. – С. 18-21.
2. Самков О.В., Коваленко А.В. Методология обгрунтування варіантів модернізації парку бойових авіаційних комплексів // Зб. наук. пр. НЦ ВПС. – К.: НЦ ВПС ЗС України, 2003. – Вип. 6. – С. 15-20.
3. Самков О.В., Климчук В.П. Особливості розробки та реалізації авіаційних цільових комплексних програм в Україні // Вісник НАУ. – 2004. – № 4 (22). – С. 55-60.
4. Финадорин Г.А., Харченко А.В., Самков А.В. Методологические аспекты формирования программы развития военной авиации // Труды НЦ ВВС. – К.: НЦ ВВС. – 1997. – Вып. 1. – С. 77-87.
5. Самков О.В. Казак В.М. Методичний підхід щодо обгрунтування оптимальних варіантів модернізації складних технічних систем // Системні технології. – Д.: ДГУ, 2006. – Вип. 6 (47). – С. 212-220.
6. Самков О.В., Литвиненко В.І. Методологічний підхід щодо вирішення завдань розподілу ресурсів в умовах невизначеності // Зб. наук. праць ДНДІ авіації. – К.: ДНДІА, 2006. – Вип. 21 (9). – С. 220-225.
7. Jensen F.V. Bayesian networks basics. – Tech. Rep. Alborg Universiti, Denmark, 1996.

Рецензенти: д.т.н., проф. Фісун М.Т.,
д.т.н., проф. Казарєзов А.Я.

© Самков О.В., Захарченко Ю.А.,
Фефелов А.О., Литвиненко В.І., 2009

Стаття надійшла до редакції 10.09.09