

УДК 005.8

Р. В. Булгаков*Військова академія (м. Одеса), Україна*

МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ РІВНЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ НАУКОВИМИ ПРОЕКТАМИ У ВИЩИХ ВІЙСЬКОВИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

На підставі розгляду розробленої динамічної моделі комплексних наукових досліджень наукової і науково-технічної діяльності у вищих військових навчальних закладах сформульовано завдання розподілу обмежених ресурсів між напрямками наукових досліджень. Отримані аналітичні рішення для логістичної й експоненційної моделей оцінювання.

Ключові слова: *управління науковими проектами, комплексне оцінювання, моделі та методи управління науковою і науково-технічною діяльністю, завдання оптимального управління.*

Основною метою управління є досягнення високої ефективності у певному виді діяльності та якомога краще використання ресурсного потенціалу. Управління науковою і науково-технічною діяльністю (НіНТД) у військовій сфері – це багатоступінчастий процес, що складається з безлічі підсистем, одним з головних напрямків якого є оперативне управління (ОУ). Результатом ОУ є отримання певної інформації, що необхідна для вирішення військово-наукових завдань. ОУ дозволяє визначити, як на максимально ефективному рівні застосувати наявні наукові ресурси для задоволення попиту Збройних Сил України.

Постановка проблеми

Однією з основних проблем у процесі управління НіНТД у Збройних силах України є проблема оцінки рівня оперативного управління науковими дослідженнями і розробками, різні підходи до її вирішення розглядаються в численних роботах вітчизняних та зарубіжних вчених. Але на теперішній час методи оцінки результатів управління науковою та науково-технічною діяльністю у вищих військових навчальних закладах чітко не визначені.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Однією з характерних особливостей військово-наукових підрозділів вищих військових навчальних закладів (ВВНЗ) є негнучкість штатно-посадового розпису та обмежений вплив на це їхніх керівників, що в свою чергу тягне обмеження керівника у засобах управління процесом НіНТД підпорядкованого підрозділу. Також перед функціональним керівником, крім завдання забезпечення регулярної діяльності підрозділу (якщо це кафедра, то начальник кафедри у ВВНЗ повинен перш за все забезпечити нормальний перебіг навчального процесу), стоїть завдання розподілу його підлеглого професорсько-викладацького складу між науковими проектами.

У світовій науці поширюється практика інтеграції методів прийняття рішень в системах управління проектами та технічних системах на основі виявлення їх спільних законів взаємодії та розвитку. В пошуках нових методів управління звертаються до законів та закономірностей розвитку природних систем. Застосування принципів і законів фізики та механіки в управлінні проектами досить розповсюджене явище [1]. Прикладом таких досліджень є розробка теорії проектів з використанням законів електродинаміки й електростатики [2], аналогії в описі турбулентних природних і штучних середовищ [3]. У цих роботах проводиться аналогія між природними системами та системами управління проектами, що дозволяє переносити знання про методи прийняття рішень для забезпечення оптимальної роботи таких систем.

У прикладному аспекті основний зміст підходів до оцінки ефективності наукової та науково-технічної діяльності ВВНЗ не повною мірою забезпечує потреби органів управління в реалізації основних функцій управління, що обумовлює необхідність у розробці механізмів управління цією діяльністю на основі положень теорії управління проектами з метою використання отриманого

досвіду для подальшого розвитку та просування до стратегічної мети [4]. Вирішення цих питань можливе з використанням запропонованої моделі комплексної оцінки рівня оперативного управління науковими проектами, який раніше у військовому науковому середовищі не застосовувався.

Формулювання цілей статті

Апарат диференціальних рівнянь і оптимального управління може успішно використовуватися для побудови моделей розвитку НІНТД [5, 6]. Головною метою досліджень в цій предметній галузі є підвищення рівня обґрунтованості управлінських рішень в науково-технічній сфері. У цій статті основний акцент поставлено на взаємозв'язок різних наукових напрямків на рівні змісту їх результатів, а не тільки на рівні обмежень ресурсного забезпечення, що необхідно для розробки та дослідження моделей і методів управління науковими проектами у ВВНЗ.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо комплексне наукове дослідження, що складається з наукових напрямків. Ступінь розвитку i -го напрямку оцінюється в безперервній шкалі показником $x_i \in [0;1]$, $i \in N = \{1,2,\dots,n\}$ – безліч наукових напрямків. Припустимо, що задані:

- вектор початкових станів напрямків $x_i^0 \in [0;1]$, $i \in N$;
- закони динаміки ступенів розвитку:

$$\dot{x}_i(t) = f_i(x(t), u_i(t)), i \in N \quad (1)$$

де $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор стану наукового дослідження, $u_i(t) \geq 0$ – залежність від часу ресурсного забезпечення i -го напрямку;

- критерій $G(x)$ ступеня розвитку наукового дослідження в цілому.

Щодо правих частин системи диференціальних рівнянь (1), припустимо, що $\forall i \in N, \forall x \in [0;1]^n \forall u_i \geq 0$ виконано:

$$\mathbf{A.1.} \ f_i(x, 0) = 0; \ \mathbf{A.2.} \ f_i(x, u_i) \geq 0; \ \mathbf{A.3.} \ \frac{\partial f_i(x)}{\partial f_j} \geq 0, j \neq i; \ \mathbf{A.4.} \ \frac{\partial f_i(x)}{\partial u_i} \geq 0; \ \mathbf{A.5.} \ \frac{\partial G(x)}{\partial x_i} \geq 0.$$

Змістовні інтерпретації введених припущень наступні. Перше припущення означає, що за відсутності ресурсного забезпечення науковий напрям не розвивається. Друге припущення відображає відсутність «забування» наукових результатів. Третє припущення відповідає «комплексному» науковому дослідженню – чим вище рівень розвитку сусідніх напрямків, тим легше розвиватися кожному окремому напрямку. Четверте припущення свідчить, що швидкість розвитку наукового напрямку зростає з ростом ресурсного забезпечення. П'яте припущення означає, що чим вище ступінь розвитку кожного з наукових напрямків, тим вище ступінь розвитку комплексного наукового дослідження. Розглянемо фіксований горизонт планування (плановий період) $T > 0$ і припустимо, що існує обмеження $u \in U$ на безліч допустимих значень ресурсного забезпечення $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$. Припустимо, що мета управління науковим дослідженням полягає в максимізації ступеня його розвитку до кінця планового періоду вибором допустимого ресурсного забезпечення з урахуванням закону (1) динаміки ступенів розвитку:

$$G(x(T)) \rightarrow \max_{u \in U, (1)} \quad (2)$$

Можна сформулювати зворотне завдання – досягнення заданого рівня розвитку G_0 наукового дослідження з мінімальними витратами ресурсного забезпечення: якщо заданий функціонал витрат $Q(u)$, то це завдання має вигляд:

$$Q(u) \rightarrow \min_{u \in U, (1), G(x) \geq G_0} \quad (3)$$

Якщо в якості критерію ефективності прийняти час досягнення заданого рівня розвитку G_0 наукового дослідження, то отримаємо задачу:

$$T \rightarrow \min_{u \in U, (1), G(x(T)) \geq G_0} \quad (4)$$

Як критерій ступеня розвитку наукового напрямку можна використовувати пріоритетний критерій:

$$G_\alpha(x) = \sum_{i \in N} \alpha_i x_i \quad (5)$$

де $\alpha_i > 0, i \in N$ – константи, такі, що $\sum_{i \in N} \alpha_i = 1$. Тоді $G: [0;1]^n \rightarrow [0;1]$.

Другою альтернативою є критерій рівномірного розвитку, що обчислюється:

$$G_{\min}(x) = \min_{i \in N} \{x_i\} \quad (6)$$

Зазначимо, що критерій (5) відображає «пріоритети розвитку науки» – наскільки затребуване на сьогодні виокремлення пріоритетних напрямків, введення системи різноманітних бонусів, грантів і т.д. Такий підхід виправданий в разі незалежних наукових напрямків на рівні дослідно-конструкторських розробок. Для фундаментальних досліджень є більш адекватним критерієм (6), оскільки в цьому випадку апріорі невідомо, де трапиться «прорив», і необхідно рівномірно розвивати комплекс взаємозбагачуваних напрямків, що є найбільш характерним для військової наукової та науково-технічної діяльності. Тому в подальшому в цій статті будемо використовувати критерій (6).

Завдання (2) – (4) є типовими завданнями оптимального управління (завдання (4) – задача про швидкодію, (2) – завдання термінального управління) і можуть бути вирішені при відомих функціях $f_i(\cdot)$, функціоналах $G(\cdot)$ та $Q(\cdot)$, константі G_0 і множині U [7,8].

Розглянемо низку окремих випадків, що дозволяють аналізувати специфіку комплексного розвитку наукових досліджень, зокрема – взаємозв'язок наукових напрямків.

Якщо наукові напрямки не пов'язані, то вважаючи, що $x_i^0 \in (0;1], i \in N$, і приймаючи логістичний закон зміни рівня розвитку («внутрішня закономірність») [9, 10, 11], з (1) отримаємо:

$$\dot{x}_i(t) = \gamma_i(u_i(t))x_i(t)(1 - x_i(t)), i \in N \quad (7)$$

Ця модель адекватна в разі, коли дослідження починаються практично «з нуля» і перший час йде на огляд близьких результатів і т.д.

Кожне з рівнянь Бернуллі, що входять в систему (7), може бути вирішено незалежно:

$$x_i(t, u_i(\cdot)) = \frac{x_i^0}{\left(x_i^0 \int_0^t \gamma_i(u_i(\tau)) e^{\int_0^\tau \gamma_i(u_i(\xi)) d\xi} d\tau + 1 \right) e^{-\int_0^t \gamma_i(u_i(\xi)) d\xi}}, i \in N \quad (8)$$

Якщо $u_i(t) = u_i, i \in N$, то отримаємо набір «незалежних» логістичних кривих (рис. 1)

$$x_i(t, u_i) = \frac{x_i^0}{x_i^0 + (1 - x_i^0) e^{-\gamma_i(u_i)t}}, i \in N \quad (9)$$

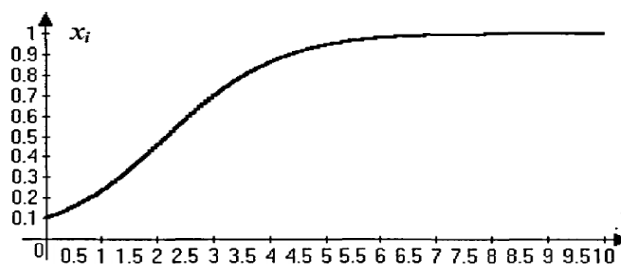


Рис. 1. Логістична динаміка рівня розвитку i -го наукового напрямку $x_i^0 = 0.1; \gamma_i(u_i) = 1$

Проаналізуємо вираз (9). Нехай заданий необхідний рівень G_0 розвитку наукового дослідження. Отримуємо з (9) рівняння, що пов'язує час досягнення цього рівня по кожному з напрямків з відповідним ресурсним забезпеченням:

$$\gamma_i(u_i)t = \ln \frac{G_0(1-x_i^0)}{x_i^0(1-G_0)}, i \in N \quad (10)$$

Якщо ресурсне забезпечення кожного наукового напрямку постійне в часі, то з точки зору критерію (6) оптимальним буде такий розподіл ресурсів, при якому всі наукові напрямки досягають необхідного рівня розвитку одночасно.

Тоді, позначаючи $\ln \frac{G_0(1-x_i^0)}{x_i^0(1-G_0)} = \beta_i, i \in N$, з (10) отримуємо, що завдання (4) набуде вигляду:

мінімізувати час T обранням вектору $u = (u_1, u_2, \dots, u_n) \in U$ констант, таких, що:

$$\gamma_i(u_i) = \frac{\beta_i}{T}, i \in N. \quad (11)$$

Нехай обмеження T має вигляд: $\sum_{i \in N} u_i \leq R$, тобто в кожен момент часу сумарні ресурси обмежені однією і тією ж величиною, а «швидкість» $\gamma_i(u_i)$ є лінійною функцією:

$$\gamma_i(u_i) = r_i u_i, i \in N, \quad (12)$$

де $r_i > 0$ – константа, яка може інтерпретуватися як «потенціал» i -го наукового напрямку або ефективність діяльності відповідного наукового колективу.

Застосовуючи метод множників Лагранжа, з (11) і (12) отримуємо, що:

$$u_i = R \frac{\frac{\beta_i}{r_i}}{\sum_{j \in N} \frac{\beta_j}{r_j}}, i \in N \quad (13)$$

$$T = \frac{\sum_{j \in N} \frac{\beta_j}{r_j}}{R}. \quad (14)$$

Змістовно вираз (13) означає, що оптимальна кількість ресурсу, що виділяється i -му напрямку, пропорційне необхідному приросту ступеня його розвитку й обернено пропорційне ефективності діяльності відповідного наукового колективу (зазначимо, що при використанні пріоритетного критерію результат був би зворотним). З виразу (14) випливає, що час досягнення необхідного рівня розвитку обернено пропорційний кількості ресурсу, який витрачається за одиницю часу.

Таким чином, обґрунтована справедливість наступного твердження.

Оптимальне (з точки зору критерію максимально швидкого – завдання (4) – рівномірного розвитку) розподілення ресурсів між незалежними науковими напрямками в рамках логістичної моделі визначається виразами (13) і (14).

Зазначимо, що вираз (14) дає і розв'язок задач (2) і (3) при підстановці відповідних виразів. Якщо критерієм є сумарні витрати $Q(u) = T \sum_{i \in N} u_i$ на ресурсне забезпечення, то в рамках введених припущень задача (3) зводиться до задачі (4), оскільки витрата ресурсів не змінюється в часі.

З (10), (13) і (14) випливає, що для динаміки ступеня розвитку наукового дослідження справедлива така оцінка:

$$G_{\log}(t) = \frac{1}{1 + e^{a_{\log}/H} e^{-tR/H}}, \tag{15}$$

де $H = \sum_{i \in N} 1/r_i$, $a_{\log} = \sum_{i \in N} (1/r_i) \ln(1/x_i^0 - 1)$.

Початковий стан може бути оцінений як

$$G_{\log}^0 = \frac{1}{1 + e^{a_{\log}/H}}. \tag{16}$$

Вирази (15) і (16) можуть використовуватися для побудови системи комплексного оцінювання результатів наукових досліджень (зазначимо, що для $n = 1$ виконано $G_{\log}^0 = x^0$).

Якщо наукові напрямки не пов'язані, то, приймаючи експоненціальний закон зміни рівня розвитку [11], з (1) отримаємо:

$$\dot{x}_i(t) = \gamma_i(u_i(t))(1 - x_i(t)), i \in N. \tag{17}$$

Ця модель адекватна в разі наявності значного наукового доробку по кожному з напрямків.

Кожне з лінійних рівнянь, що входять в систему (17), може бути вирішено незалежно. При $u_i(t) = u_i, i \in N$, отримаємо набір «незалежних» експоненційних кривих (рис. 2.):

$$x_i(t, u_i) = 1 - (1 - x_i^0) e^{-u_i r_i t}, i \in N. \tag{18}$$

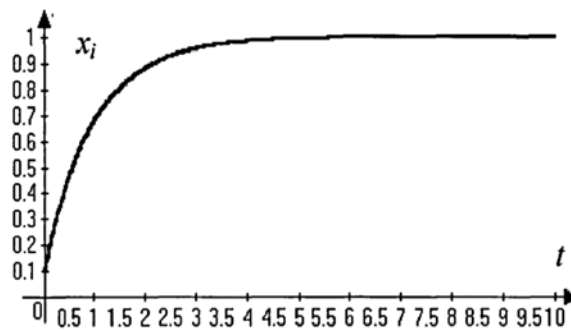


Рис. 2. Експоненціальна динаміка рівня розвитку i -го наукового напрямку $x_i^0 = 0,1; \gamma_i(u_i) = 1$
 За аналогією з (13) і (14) отримуємо для цієї моделі:

$$u_i = R \frac{p_i}{\sum_{j \in N} \frac{p_j}{r_j}}, i \in N \tag{19}$$

$$T = \frac{\sum_{j \in N} \frac{p_j}{r_j}}{R}, \tag{20}$$

де $p_i = \ln \frac{1 - x_i^0}{1 - G_0}$ (зазначимо, що $\beta_i = p_i + \ln \left(\frac{g_0}{x_i^0} \right), i \in N$).

Змістовні інтерпретації виразів (19) і (20) аналогічні змістовним інтерпретаціям, відповідно, виразів (13) і (14).

Таким чином, обґрунтована справедливість наступного твердження.

Оптимальне (з точки зору критерію максимально швидкого – завдання (4) – рівномірного розвитку) розподілення ресурсів між незалежними науковими напрямками в рамках експоненційної моделі визначається виразами (19) і (20).

Зазначимо, що, як і вище, вираз (20) дає і розв'язок задач (2) і (3) при підстановці відповідних виразів. Якщо критерієм є сумарні витрати $Q(u) = T \sum_{i \in N} u_i$ на ресурсне забезпечення, то в рамках введених припущень задача (3) зводиться до задачі (4), оскільки витрата ресурсів не змінюється в часі.

З (18)–(20) випливає, що для динаміки ступеня розвитку наукового дослідження справедлива така оцінка:

$$G_{\text{exp}}(t) = 1 - \exp \left\{ \sum_{i \in N} (1/r_i) \ln(1 - x_i^0) / H \right\} e^{-tR/H}. \quad (21)$$

Початковий стан може бути оцінений як:

$$G_{\text{exp}}^0 = 1 - \exp \left\{ \sum_{i \in N} (1/r_i) \ln(1 - x_i^0) / H \right\}. \quad (22)$$

Вирази (21) і (22) можуть використовуватися для побудови системи комплексного оцінювання результатів наукових досліджень (зазначимо, що для $n = 1$ виконано $G_{\text{exp}}^0 = x^0$).

Висновки

Проведений аналіз показує, що для підтримки та супроводження управлінських рішень необхідно використовувати інформацію, яка отримана за допомогою процедури комплексного оцінювання. При дослідженні проблеми оцінки рівня оперативного управління науковими проектами розроблена динамічна модель комплексних наукових досліджень, в рамках дослідження якої сформульована задача розподілу обмежених ресурсів між напрямками наукових досліджень з метою максимізації комплексного критерію до моменту закінчення планового періоду, яка в загальному випадку зведена до задачі оптимального управління. Також отримані аналітичні рішення для логістичної й експоненційної моделей.

Список використаних джерел

1. Шамов А.В. Модель энергетического баланса в управлении проектно-ориентированными организациями / А.В. Шамов, А.В. Шахов // Вісник Одеського національного морського університету, 2013. – № 2(38). – С. 155-161.
2. Бабаев И.А. Управление программами развития организаций на основе генетических моделей проекта / И.А. Бабаев. – Киев : Наук. світ, 2005. – 164 с.
3. Бушуева Н.С. Модели и методы проактивного управления программами организационного развития : монография / Н.С. Бушуева. – Киев : Наук. світ, 2007. – 200 с.
4. Ярошенко Ф.А. Управление инновационными проектами и программами на основе системы знаний РМ2 / Ф.А. Ярошенко, С.Д. Бушуев, Х. Танака. – Киев, 2011. – 268 с.
5. Малинецкий Г.Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент: введение в нелинейную динамику / Г.Г. Малинецкий. – Москва : Наука, 1997. – 225 с.
6. Милованов В.П. Неравновесные социально-экономические системы: синергетика и самоорганизация / В.П. Милованов. – Москва : Эдиториал, 2001. – 264 с.
7. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления / В.Г. Болтянский. – Москва : Наука, 1968. – 408 с.
8. Ли Э. Б. Основы теории оптимального управления / Э. Б. Ли, Л. Маркус. – Москва : Наука, 1972. – 576 с.
9. Венда В.Ф. Системы гибридного интеллекта: эволюция, психология, информатика / В.Ф. Венда. – Москва : Машиностроение, 1990. – 448 с.

10. Нижегородцев Р.М. Информационная экономика / Р.М. Нижегородцев. – Москва : МГУ, 2002. – 163 с. – Т.1.
11. Новиков Д.А. Закономерности итеративного научения / Д.А. Новиков. – Москва : ИПУ РАН, 1998. – 96 с.

Рецензент: В.Ф. Миргород, д.т.н., проф., Військова академія (м. Одеса).

МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫМИ ПРОЕКТАМИ В ВЫСШИХ ВОЕННЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

Р.В. Булгаков

На основании рассмотрения разработанной динамической модели комплексных научных исследований научной и научно-технической деятельности в высших военных учебных заведениях, сформулирована задача распределения ограниченных ресурсов между направлениями научных исследований. Получены аналитические решения для логистической и экспоненциальной моделей оценки.

Ключевые слова: управление научными проектами, комплексное оценивание, модели и методы управления научной и научно-технической деятельностью, задача оптимального управления.

MODEL OF COMPREHENSIVE EVALUATION OF THE LEVEL OF OPERATIONAL CONTROL SCIENTIFIC PROJECTS IN THE HIGHER MILITARY EDUCATIONAL INSTITUTIONS

R. Bulgakov

Based on consideration developed a dynamic model of comprehensive research of scientific and technical activity at the higher military educational institutions, formulated task allocation of scarce resources between areas of research. Analytical solutions for logistic and exponential models evaluation.

Keywords: management research projects, integrated assessment models and methods of scientific management, scientific and technical activities, optimal control problem.