

Веселовська О.В.¹

Моделювання магістральних властивостей функціонування та розвитку наукомісткої авіабудівної виробничої системи «Антонов»

¹ Веселовська Ольга Володимирівна, кандидат економічних наук, старший викладач кафедри фінансів, менеджменту та економіки Київського університету імені Бориса Грінченка, Київ, Україна

Received November 4, 2013; Accepted November 28, 2013

Анотація. у статті систематизовано теоретичні положення моделювання оптимальних траєкторій розвитку наукомістких виробничих систем. Виділено основні етапи оптимальної траєкторії розвитку ДП «Антонов», як наукомісткої виробничої системи. Доведено існування магістралі, яка забезпечує максимальний обсяг споживання та найбільш раціональний розподіл ресурсів. Вирішено задачу оптимального керування інвестиціями наукомістких виробничих систем.

Ключові слова: моделювання, розвиток, траєкторія, магістраль, витрати, інвестиції.

Моделювання завжди було саме тим інструментом, який давав змогу аналізувати основні показники діяльності підприємства, управляти ними та корегувати їх в залежності від ситуації. Проте, вибір найбільш ефективних та доцільних для використання методів побудови моделей завжди викликав багато ускладнень. Тривалий час найбільш оптимальними для цілей моделювання діяльності авіабудівних підприємств вважалися екзогенні та ендогенні моделі. Однак, при їх використанні, економічну систему авіапідприємства на певному проміжку часу можна вважати не відкритою, а замкнутою. Одним із шляхів розв'язання даної задачі є розробка, багатомодульних наукомістких виробничих авіабудівних систем, які в основі самої моделі використовують агреговані виробничі функції, які враховують структуру, специфіку і технологію розробки нової продукції.

Питаннями побудови моделі, які описували процес функціонування підприємства у його взаємодії із зовнішнім середовищем та з урахуванням його розвитку займалися Г.В Лаврінський, Ю.Г. Лисенко, А.Н. Марюта, Л.Н., Пшенишнюк О.С., Сергеева, М. Тихоміров, С.В. Устиненко та ін.

Метою статті є систематизація теоретичних положень моделювання оптимальних траєкторій розвитку наукомістких виробничих систем; доведення існування оптимальної траєкторії для наукомісткої системи ДП «Антонов» за допомогою методів чисельного моделювання.

Враховуючи думки провідних авторів із проблеми побудови та функціонування наукомісткої виробничої системи (НВС), яка дозволяє розв'язати задачу розподілу інвестицій, трудових ресурсів, первинних та вторинних ресурсів між функціональними модулями інтеграційної виробничої системи з метою прийняття управлінських рішень, систематизуємо попередні результати моделювання та сформулюємо теоретичні положення і припущення відносно якісного дослідження оптимальних траєкторій динамічної моделі оптимального економічного розвитку НВС.

По-перше, результати чисельного моделювання показали [1] існування єдиної оптимальної стаціонарної траєкторії, яка не залежить ні від початкових, ні від кінцевих даних, а визначається лише структурою наукомісткої виробничої системи (НВС). Як було визначено раніше [2-3], НВС складається з окремих функціональних модулів, до складу яких входять нау-

ковий, виробничий, ресурсний, ремонтний, сервісний, маркетинговий та ін. Таким чином, можна стверджувати, що структура НВС – це багатомодульна технологічна структура виробничої системи, яка націлена на проектування, розробку та супровід конкурентноспроможної продукції. Кожний модуль визначається конкретним типом виробничої функції, а вся система – агрегованою виробничою функцією, яка враховує структуру, специфіку і технологію розробки та ремонтно-сервісного обслуговування нової продукції. Проте, незалежно від типу виробничої функції, параметрами, які впливають на характер траєкторії розвитку системи, є безпосередньо параметри (вагові коефіцієнти) окремих виробничих функцій кожного модуля виробничої системи, виробничі програми випуску наукомісткої продукції $y(t)$, програми ремонтно-сервісного обслуговування $y_0(t)$, період розвитку системи T , ендогенні параметри моделі коефіцієнти амортизації та ін.

По-друге, в результаті чисельного моделювання було отримано структуру оптимальних траєкторій розвитку системи НВС. Найважливішою властивістю оптимальних траєкторій є їхній магістральний характер при великих значеннях горизонту планування системи T .

З метою виявлення існування оптимальної стаціонарної траєкторії розглянемо наступну задачу [3]:

$$c(x, y, \dot{k}, \dot{\alpha}, T) = \int_0^T (1 - v(t)) \prod(k(t)) dt \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\dot{k}_i = \alpha_i(t) \prod(k(t)) - \mu_i k_i(t),$$

$$f_0(\dot{k}(t)) \geq y_0, k(0) = x, k(T) = y, v(t) = \sum_{i=1}^4 \alpha_i(t) \leq 1, \alpha_i(t) \geq 0,$$

де c – питома споживання;

α – вектор долей інвестицій;

$\prod(k) = p_i f(k) - B$ – прибуток;

B – витрати;

P_i – ціна одиниці наукомісткої продукції;

μ_i – коефіцієнти амортизації модулів;

k – вектор фондоозброєності;

$f(k)$ – агрегована ВФ для ресурсного, наукового та виробничого модулів;

$f_0(k)$ – агрегована ВФ для ресурсного та ремонтно-сервісного модулів;

y_0 – мінімально-необхідний рівень ремонтно-сервісного обслуговування.

Вважається, що коли $\sum_{i=1}^4 \alpha_i(t) = 1$, то чистого прибутку немає, тобто він весь витрачається на інвестиції: $c(t) = (1 - \sum_{i=1}^4 \alpha_i) \Pi(k) = 0$.

При $\sum_{i=1}^4 \alpha_i(t) < 1, c(t) > 0$ у розпорядженні підприємства залишається чистий прибуток і виробництво є рентабельним. Інтеграл, наведений у формулі 1 зручно представити у вигляді:

$$c(x, y, k(t), \alpha(t), T) = \int_0^T \Pi(k(t)) dt - \int_0^T v(t) \Pi(k(t)) dt =$$

$$= \left(\begin{array}{l} \alpha(t) \Pi(k(t)) = \dot{k}_i(t) + \mu_i k_i(t) \\ v(t) \Pi(k(t)) = \sum_{i=1}^4 \dot{k}_i(t) + \sum_{i=1}^4 \mu_i k_i(t) \end{array} \right) =$$

$$= \int_0^T [\Pi(k(t)) - \sum_{i=1}^4 \mu_i k_i(t)] dt - \sum_{i=1}^4 (y_i - x_i), \text{ тоді}$$

$$c(x, y, k(\cdot), \alpha(\cdot), T) = \int_0^T [\Pi(k(t)) - \sum_{i=1}^4 \mu_i k_i(t)] dt - \sum_{i=1}^4 (y_i - x_i). \quad (2)$$

Позначимо

$$\Omega = \sup_{\substack{k \geq 0 \\ f_0(k) \geq y_0}} \left[\Pi(k) - \sum_{i=1}^4 \mu_i k_i \right], \quad (3)$$

тоді $\Pi(k) - \sum_{i=1}^4 \mu_i k_i \leq \Omega \quad \forall k \geq 0$.

Тому

$$c(x, y, k(\cdot), \alpha(\cdot), T) = \int_0^T [\Pi(k(t)) - \sum_{i=1}^4 \mu_i k_i(t)] dt - \sum_{i=1}^4 (y_i - x_i) \leq \int_0^T \Omega dt - \sum_{i=1}^4 (y_i - x_i) = \Omega T - \sum_{i=1}^4 (y_i - x_i).$$

Отже, маємо нерівність:

$$c(x, y, k(\cdot), \alpha(\cdot), T) \leq \Omega T - \sum_{i=1}^4 (y_i - x_i) \quad (4)$$

Метою задачі управління є максимізація функції **C**. З нерівності (4) випливає, що, коли існує таке управління $\alpha(t)$, за якого у даній формулі виконується рівність, то воно й буде оптимальним. Відповідність управління обчислюються за формулою [94]:

$$\alpha_i^* = \frac{\mu_i k_i^*}{\Pi(k^*)},$$

тоді траєкторія $k(t) = k^*$ є стаціонарною траєкторією відповідної динамічної системи з керуванням $\alpha(t) = \alpha^*$, на якій система може знахо-

дитись як завгодно довго. При цьому розподіл інвестицій та споживання є оптимальним з точки зору максимізації споживання.

В теоремах про магістралі для різних моделей та динамічних систем доводиться існування магістралі [4]. За умови наявності магістралі, оптимальні траєкторії слід шукати серед тих, які зберігають приблизно постійними пропорції в інтенсивності використання різних виробничих процесів. Таким чином, оптимальною траєкторією, у нашому випадку – для авіабудівного підприємства «Антонов», слід вважати таку, яка забезпечує максимум функції мети задачі, тобто коли динамічна система отримує максимальний параметр споживання.

Аналіз результатів чисельного моделювання показує [4], що структуру оптимальної траєкторії при великих T характерних для виробництва транспортних та пасажирських літаків лінійки «Антонов», можна розбити на три умовні частини: початкову, стаціонарну та кінцеву.

Зазвичай, для початкового етапу характерною є ситуація, в якій необхідно за мінімальний час вийти на магістраль k^* при цьому, як правило, вкладаються найбільші інвестиції, а споживання є мінімальним. Прикладом може служити налагодження виробництва нового літка або лінійки літаків, коли значні кошти вкладаються в конструкторські розробки, дослідження, випробування тощо, а прибуток або взагалі відсутній, або мінімальний. За умови стаціонарної (магістральної) частини оптимальної траєкторії прослідковується ефективна робота наукомісткої авіабудівної системи «Антонов». Це відбувається за рахунок використання стратегії оптимального перерозподілу ресурсів: інвестиції та споживання є помірними, тобто підприємство нормально функціонує отримуючи прибуток, та вкладаючи кошти в нові розробки. Для кінцевого етапу виходу на кінцеву точку розвитку k_1 , характерні великі інвестиції та мінімальне споживання. Така ситуація характерна для «списаних» літаків, які не здійснюють рейсів або більше не придатні для промислового використання. Вони залишаються не утилізованими, а тому авіапідприємства вимушені витрачати значні кошти на їх обслуговування та зберігання.

З метою доведення існування магістралі для наукомісткої системи сформулюємо припущення, яке формалізує поняття «велике значення T ». Припустимо, що точки x , y та T такі, що (див. рис. 1-3):

а) $\exists \alpha^1(t) = (\alpha_1(t), \alpha_2(t), \alpha_3(t), \alpha_4(t)) : k(0) = x$, точка k^* досяжна з точки X протягом часу t_1 .

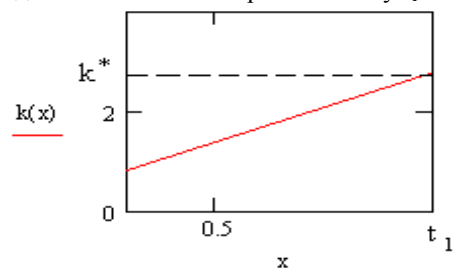


Рис. 1. $k(t_1) = k^*$

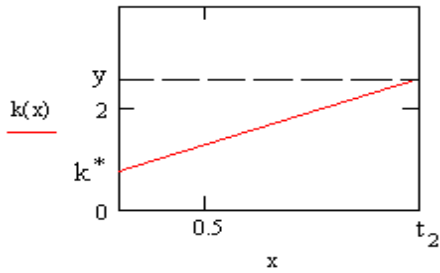


Рис. 2. $k(t_2) = y$

б) $\exists \alpha^2(t) = (\alpha_1(t), \alpha_2(t), \alpha_3(t), \alpha_4(t)) : k(0) = k^*, k(t_2) = y,$

точка y досяжна з точки k^* протягом часу t_2 .

Нехай $K(x, y, T) = \sup_{\alpha} c(x, y, k(\cdot), \alpha(\cdot), T),$

$$\Omega = \sup_k [\Pi(k) - \sum_{i=1}^4 \mu_i k_i] = \Pi(k^*) - \sum_{i=1}^4 \mu^* k_i^*, \alpha_i^* = \frac{\mu_i k_i^*}{\Pi(k^*)}$$

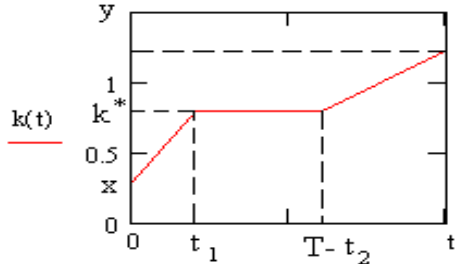


Рис. 3. Графічна інтерпретація припущення

Розглянемо на декількох прикладах задачу оптимального керування інвестиціями НВС на ДП «Антонов», яке розробляє наукомістку продукцію. До складу такої НВС входять наступні модулі [1]: ресурсний (Р-модуль), науково-виробничий (НВ-модуль), виробничий (В-модуль) і ремонтно-сервісний (РС-модуль), які, відповідно, у подальшому будуть називатися \dot{i} — ті модулі ($i = 0, 1, 2, 3, 4$). Для чисельного моделювання оптимальних траєкторій фондоозброєності НВС «Антонов» проводимо дискретизацію задачі (рис. 3). З цією метою інтервал $[0, T]$

розбиваємо на N рівних частин, вважаємо управління на кожному інтервалі (кроці) $h = \frac{T}{N}$ сталим.

$$u^n = (\alpha_0^n, \alpha_1^n, \alpha_2^n, \alpha_3^n, \alpha_4^n), n = 0, \dots, N - 1$$

Тоді динамічну систему $\dot{k}_i = \alpha_i(t) \prod(k(t)) - \mu_i k_i(t)$ можна замінити за методом Ейлера різницеvim наближенням $k^{n+1} = k^n + h(u^n \prod(k^n) - Mk^n),$ а цільову функцію за методом трапецій сумою:

$$c(k_0, k^*, u) = h \sum_{n=0}^{N-1} (1 - \sum_{i=1}^4 \alpha_i^n) \frac{\prod(k^n) + \prod(k^{n+1})}{2}$$

За допомогою програмного пакету MathCAD проводилась максимізація функції по керуванню $u^n = u^0, u^1, \dots, u^{N-1},$ за умов $k(0) = k_0, k(T) = k1$ та фазовому обмеженні $f_0(k^n) \geq y_0.$ Нехай виробничі функції НВС «Антонов» i -х модулів задаються функціями:

$$F(k) := A \prod_{i=0}^3 (k_i)^{\alpha_i}, a := \begin{bmatrix} 0,1 \\ 0,2 \\ 0,3 \\ 0 \end{bmatrix}, A = 2,$$

$$F0(k) := A0 \cdot (k_0)^{a_0} \cdot (k_3)^{a_3}, a_0 := 0,2, a_3 := 0,4, A_0 = 2, y_0 := 2$$

При цьому, початкові значення: фондоозброєність $k_0 = (5,4,1,1),$ інтервал $T := 240$ (місяців) та кількість точок моделювання $N := 10$ динамічної системи $\dot{k}_i = \alpha_i(t) \prod(k(t)) - \mu_i k_i(t).$ Значення фондоозброєності i -х модулів будемо вважати умовно-відносними. Задамо також кінцеву точку розвитку системи:

$k1 = k_i(T) = (3,570; 4,354; 3,384; 2,949).$ Результат моделювання динамічної системи зображено на рис. 4.

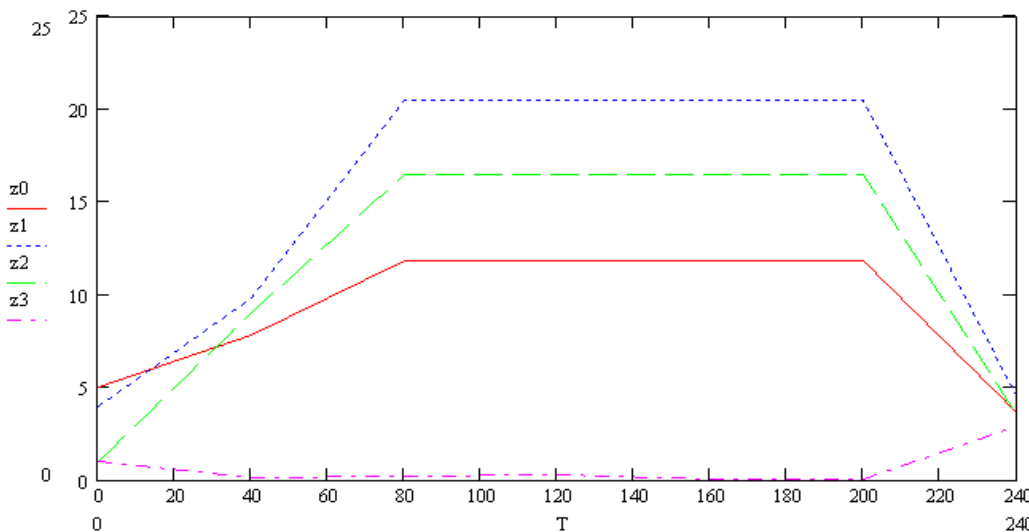


Рис. 4. Моделювання траєкторій фондоозброєності $z_{n,i} = k_i$ динамічної системи за заданою кінцевою точкою траєкторії розвитку $k_i(T) = (3,570; 4,354; 3,384; 2,949)$

Аналізуючи дані розрахунків, графічно зображених на рис. 4, можна прийти до висновку, що результат моделювання динамічної системи $\dot{k}_i = \alpha_i(t) \prod (k(t)) - \mu_i k_i(t)$ характерний для наукомісткого виробництва, коли проводиться проектування нового типу літака «Антонов» у замкненому ланцюгу виробничої системи «Розробка-Виробництво-Обслуговування» за оптимальних значень: $\alpha^* = \alpha_i = (0,103; 0,205; 0,294; 0,004)$, $k^* = k k_i = (11,788; 20,492; 16,487; 0,404)$.

Змінено початкові та кінцеві значення фондоозброєності системи «Антонов», відповідно $k_0 = (1,5, 4, 1)$ та $k_1 = k_i(t) = (5, 3, 10, 10)$. Тобто,

вважаємо, що НВ-модуль закінчив проектування, а В-модуль лише починає серійне виготовлення наукомісткої продукції – нового типу літака «Антонов». Для цього необхідно суттєво збільшити фондоозброєність виробничого модулю. Враховуючи те, що виробничі функції залишилися без зміни, система виходить на ту ж саму магістраль, що і в попередньому прикладі:

$$\alpha^* = \alpha_i = (0,103; 0,205; 0,294; 0,004),$$

$$k^* = k k_i = (11,788; 20,492; 16,487; 0,404)$$

Але кінцева траєкторія виходить на іншу, більш потужнішу, задану точку розвитку системи «Антонов», де $k_1 = k_i(T) = (5, 3, 10, 10)$ (рис. 5).

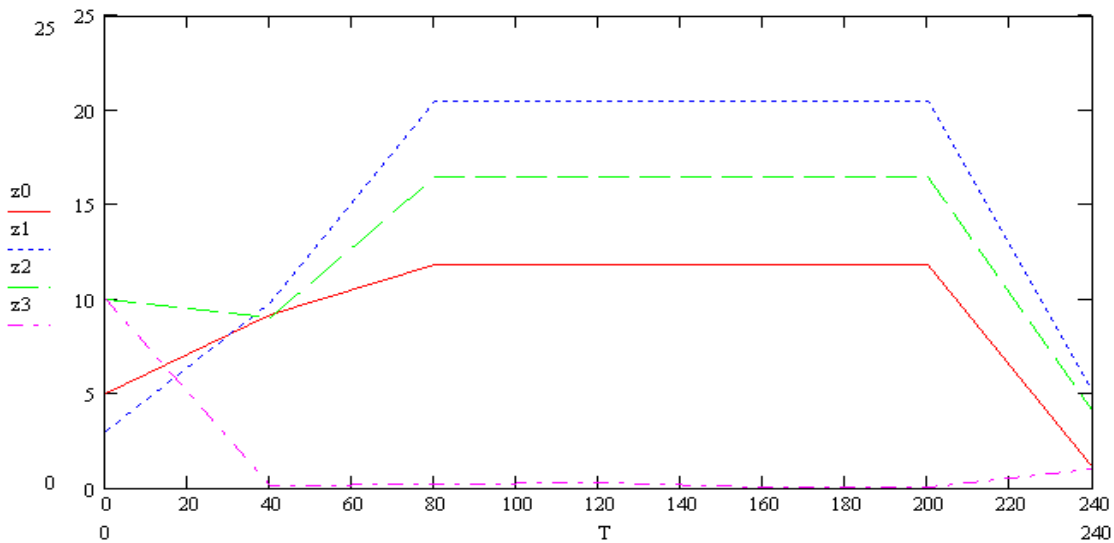


Рис. 5. Моделювання траєкторій фондоозброєності $z_{n,i} = k_i$ за заданої кінцевої точки траєкторії розвитку $k(T_i) = (5, 3, 10, 10)$

Аналізуючи рис. 5, можна зробити висновок, що з економічної точки зору динамічна система НВС «Антонов» у початковій та на кінцевих зонах керування нарощує виробничий потенціал, а в магістральній – зберігає оптимальний розподіл інвестицій та споживання в багатомодульній структурі НВС. При цьому на магістралі фондоозброєність має постійний рівень k^* за оптимальних інвестицій α^* .

Отже, на прикладі ДП «Антонов», автором було розроблено модель, що розглядає підприємство як багатомодульну наукомістку систему, яка є джерелом впровадження нових технологій та продуктів. Було доведено існування магістралі, яка забезпечує макси-

мальний обсяг споживання та найбільш раціональний розподіл ресурсів. Крім того, за допомогою моделювання було вирішено задачу оптимального керування інвестиціями НВС та продемонстровано на яких етапах витрати є найбільшими, а прибутки найменшими, та навпаки. За допомогою розробленої моделі можна не лише ефективно керувати витратами, відслідковуючи їх рівень та динаміку, але й значно підвищити ефективність фінансового управління на підприємстві в цілому. Крім того, модель може використовуватися на різних авіабудівних підприємствах, оскільки принцип її дії залишається незмінним, уточнення потребують лише вихідні дані.

ЛІТЕРАТУРА

(REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Економічна кібернетика / За заг. ред. Ю.Г. Лисенка; у 2-х т. – Донець: Юго-Восток, Лтд, 2005. – Т. 1. – 508 с.
 Economichna kibernetika [Economic Cybernetics] / Edited by Yu.G. Lysenko; in 2 books. – Donetsk: Iugo-Vostok, Ltd, 2005. – Book. 1. – 508 s.
 2. Сергеева Л.Н. Моделирование поведения экономических систем методами нелинейной динамики (теория хаоса). – Запоріжжя: Поліграф, 2008. – 227 с.
 Sergieieva L.N. Modeliuvannja povedinky ekonomichnykh sistem metodamy neliniinoi dynamiki (teoriia khaosu) [Modeling the behavior of economic systems by methods of nonlinear dynamics (chaos theory)]. – Zaporizhzhia: Poligraf, 2008. – 227 s.
 3. Устенко С.В. Багатомодульна модель функціонування наукомісткого підприємства / С.В. Устенко // Моделювання

та інформаційні системи в економіці. – 2009. – Вип. 76. – С. 62-81.
 Ustenenko S.V. Bagatomodulna model funktsionuvannja naukomistkogo pidpriemstva [Multimodal model of knowledge-based enterprises] / S.V. Ustenenko // Modeliuvannja ta informatsiini systemy v ekonomici. – 2009. – Vypusk. 76. – S. 62-81.
 4. Устенко С.В. Теоретичні засади обґрунтування магістральних властивостей функціонування та розвитку наукомістких виробничих систем / С.В. Устенко // Моделювання та інформаційні системи в економіці. – 2010. – Вип. 79. – С. 92-109
 Ustenenko S.V. Teoretychni zasady obgruntuвання magistralnykh vlastyvostei funktsionuvannja ta rozvytku naukomistkykh vyrobnychykh system [Theoretical basics of argumentation of

main-lines of functioning and development of knowledge-based production systems] / S.V. Ustenenko // Modeliuvannja ta infor- matsiini systemy v ekonomici. – 2010. – Vypusk 79. – С. 92-109.

Veselovska O.V. Modeling of the main-lines characteristics of functioning and development of «Antonov» knowledge-based aircraft building system

Abstract. Theoretical basics of modeling the optimal trajectories of development of the knowledge-based production systems are systemized in the article. The basic stages of the optimal trajectory of «Antonov» development as knowledge-based production system are determined. The existence of a main-line that provides the maximum amount of consumption and the most efficient allocation of resources is proved. The problem of optimal investment management of knowledge-based production systems is solved.

Keywords: modeling, development, trajectory, line, costs, investments.

Веселовская О.В. Моделирование магистральных свойств функционирования и развития наукоемкой авиационно-производственной системы «Антонов»

Аннотация. в статье систематизированы теоретические положения моделирования оптимальных траекторий развития наукоемких производственных систем. Выделены основные этапы оптимальной траектории развития ГП «Антонов», как наукоемкой производственной системы. Доказано существование магистрали, которая обеспечивает максимальный объем потребления и наиболее рациональное распределение ресурсов. Решена задача оптимального управления инвестициями наукоемких производственных систем.

Ключевые слова: моделирование, развитие, траектория, магистраль, расходы, инвестиции.