“Юнайтед Лондон трейд Лимитед”, 1995. – 448 с. 3. Пушкар Р.М., Тарнавська Н.П. Менеджмент: теорія і практика. Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Тернопіль: Карт-бланш, 2003. – 490 с. 4. Друкер П.Ф. Задачи менеджмента в XXI веке. – К.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 270 с. 5. Словник іншомовних слів / За ред. О.С. Мельничука. – К.: Київська книжкова фабрика, 1977. – 775 с. 6. Пересада А.А. Управління інвестиційним процесом. К.:Лібра, 2002. – 472 с. 7. Міжнародний менеджмент: Конспект лекцій / Укл. О.Є. Кузьмін, Н.І. Кара, О.С. Скибінський – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2002. – 110 с. 8. Пилипенко А.А., Пилипенко С.М., Отенко І.П. Менеджмент: підручник. – Х.: ВД «ІНЖЕК», 2005. – 457 с. 9. Warren K. International Competition: The Japanese Challenge //, Journal of International Business Studies, Winter. – 1984. – P. 191. 10. Шатун В.Т. Основи менеджменту: Навч. посібник. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2006. – 376 с. 11. http://www.vuzlib.net/strat_upr/34.htm – Економіко-правова бібліотека. 12. Тимощук М.Р., Кузьмін О.Є., Фещур Р.В., Шуляр Р.В., Подольчак Н.Ю., Олексів І.Б. Планування соціально-економічного розвитку підприємств: Монографія. – К.: УБС НБУ, 2007. – 449 с. 13. http://www.aup.ru/books/m62/4_2.htm – Адміністративно-уравлінський портал. 14. Мескон М.Х., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента: Пер. с англ. – М.: Дело, 1998. – 704 с. 15. Шегда А.В. Менеджмент: Підручник. – К.: Знання, 2004. – 687 с. 16. Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь. – М.: Наука, 1987. – 510 с. 17. Управление по результатам. – М.: Прогресс, 1988. – 320 с. 18. Коломойцев В.Е. Універсальний словник економічних термінів: Навч. посібник. – К.: Молодь, 2000. – 384 с. 19. Стадник В.В., Йохна М.А. Менеджмент: Посібник. – К.: Академвидав, 2003. – 464 с. 20. Герасимчук В.Г. Стратегічне управління підприємством. Графічне моделювання. – К.:КНЕУ, 2000. – 360 с. 21. Ансофф И. Новая корпоративная стратегия. – СПб: Питер. Ком., 1999. – 416 с. 22. Коно Т. Стратегия и структура японских корпораций. – М.: Прогресс, 1987. – 224 с. 23. Гончаров В.В. Руководство для высшего управленческого персонала в 2-х томах. Том 2. – МНИИПУ, 1998. – 784 с. 24. Каплан Р.С., Нортон Д.П. Сбалансированная система показателей. От стратеги к действию / Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олімп-Бизнес», 2003. – 304 с.

УДК 502.33:620.92

А.В. Прокіп
Національний лісотехнічний університет України

УМОВИ ОПТИМАЛЬНОГО ЗАМІЩЕННЯ НЕВІДНОВЛЮВАНИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ВІДНОВЛЮВАНИМИ

Розглядається проблема оптимального заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними. Визначаються умови ефективного використання невідновлюваних та відновлюваних ресурсів та фактори, які визначають обсяги використання цих ресурсів при їх ефективному поєднанні.

The problem of efficient substitution nonrenewable resources by renewable is considered. Conditions of optimal resource substitution are defined. Factors, that influence upon efficient substitution of nonrenewable resources by renewable are studied.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Зниження запасів невідновлюваних енергоресурсів та зростання енергетичних потреб людства, погіршення екологічної ситуації вимагають розширення використання відновлюваних енергоресурсів. Відповідно до цього виникає потреба визначення критеріїв оптимального заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема ефективного заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними в межах конкретного виробництва неодноразово піднімалася в науковій літературі (див напр. [1–4]). Різні автори розглядають умови оптимального заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними за різних достатньо конкретних умов, зводячи розв'язок задачі оптимального заміщення до граничних випадків.

Цілі статті. Цілями статті є визначення факторів, які впливають на умови заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними, а також визначення умов оптимального заміщення цих ресурсів в загальному вигляді.

Основний матеріал дослідження. Розглянемо задачу оптимального поєднання відновлюваних та невідновлюваних ресурсів. Припустимо, що енергоресурс X_1 є невідновлюваним, а X_2 відновлюваним, а також приймемо, що вони є замінними. Зважаючи на те, що об'єктом розгляду є саме енергоресурси, можна припустити, що рівень технологічної заміни ресурсів високий. Розглянемо виробничу функцію такого вигляду:

$$Y = f\left(X_1, X_2\right), \tag{1}$$

яка визначає обсяги виробництва певного блага, при використанні ресурсів X_1 та X_2. У цій виробничій функції абстрагуємося від використання інших ресурсів, засобів виробництва та праці.

Вартість ресурсів, що необхідні для виробництва певного обсягу блага, можна визначити:

$$c = p_1 \cdot X_1 + p_2 \cdot X_2,$$

де c – загальна вартість ресурсів; p_1 та p_2 – ціна одиниці ресурсу X_1 та X_2 відповідно; X_1 та X_2 – обсяги використовуваних відновлюваного та невідновлюваного ресурсу.

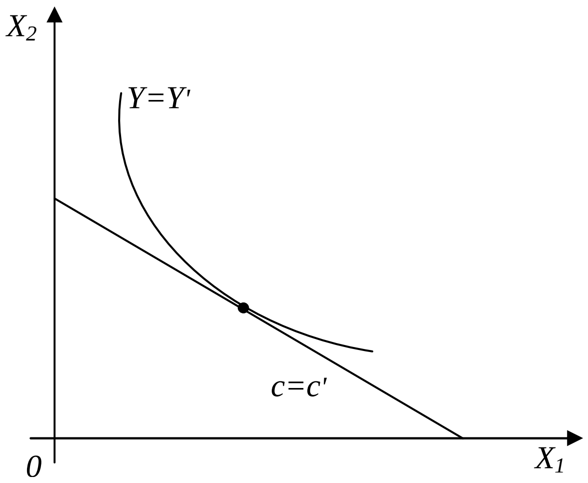
Розглянемо оптимальне поєднання ресурсів для певного конкретного обсягу виробництва $Y = Y'$. На рисунку. зображено ізокванту для обсягу виробництва Y' та ізокосту при величині витрат c'.

Припустимо, що виробнича функція (1) є функцією Кобба–Дугласа. Тоді (1) можна переписати у такому вигляді:

$$Y = f\left(X_1, X_2\right) = a \cdot X_1^{\alpha} \cdot X_2^{\beta},$$

тоді

$$\alpha + \beta = 1.$$



Ізокванта та ізокоста для обсягу виробництва Y' та витрат на рівні c'

Цілком очевидно, що оптимальний рівень використання ресурсів для обсягу виробництва Y' при витратах ресурсів c' відзначається у точці рівності кутів нахилу ізокости та дотичної до ізокванти. Відповідно, оптимальним використання ресурсів є за умови:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\partial Y}{\partial X_2} \Bigg/ \frac{\partial Y}{\partial X_1}. \qquad (2)$$

У такому разі відношення $\frac{\partial Y}{\partial X_2} \Big/ \frac{\partial Y}{\partial X_1}$ є граничною нормою технологічної заміни ресурсу X_2 ресурсом X_1.

Враховуючи, що

$$\frac{\partial Y}{\partial X_1} = a \cdot \alpha \left(\frac{X_2}{X_1} \right)^{1-\alpha}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial X_2} = a(1-\alpha) \cdot \left(\frac{X_1}{X_2} \right)^{\alpha},$$

умову раціонального поєднання ресурсів (2) перепишемо так:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1-\alpha}{\alpha} \cdot \frac{X_1}{X_2}. \qquad (3)$$

Умова ефективного поєднання ресурсів (3) дійсна для обсягу виробництва благ $Y = Y'$, а відповідно, витрати на ресурси становлять $c=c'$. Така умова передбачає ефективне заміщення певної кількості невідновлюваного ресурсу відновлюваним за умови певного рівня виробництва Y'.

В загальному вигляді модель оптимального поєднання ресурсів варто визначати із цільовою функцією максимізації обсягів виробництва та мінімізації витрат на ресурси, задіяні у виробництві. Тому умову ефективного використання ресурсів можемо звести до такої:

$$U(Y(X_1, X_2)) \to \max, \qquad (4)$$

де U – функція корисності від виробництва блага.

При цьому повинні виконуватися умови:

$$\begin{gathered} 0 \le X_1 \le L_{X_1} \\ 0 \le X_2 \le L_{X_2} \\ f\left(L_{X_1}, L_{X_2}\right) \ge N \\ p_1 \cdot X_1 + p_2 \cdot X_2 \le c(Y) \end{gathered} \qquad (5)$$

де N – обсяг потреби блага, що виробляється.

Цілком зрозуміло, що рівень корисності U від виготовленого блага прямо пропорційний до обсягів виготовленого блага Y, адже будь-яка функція корисності нормального блага є зростаючою та опуклою вгору. А відповідно умова (4) ідентична такій умові:

$$Y = f\left(X_1, X_2\right) \to \max. \qquad (6)$$

Двоїстою задачею до задачі (6) буде така:

$$c = p_1 X_1 + p_2 X_2 \to \min. \qquad (7)$$

Повинні виконуватися такі умови:

$$Y = f\left(X_1, X_2\right) = Y'$$

$$0 \le X_i \le L_{X_i}, i = \overline{(1,2)}.$$

Задача (5)–(6) є ілюстрацією постулату технічної максимізації, а задача (7) відповідно є ілюстрацією постулату технічної мінімізації.

У випадку багатофакторної виробничої функції (використання більше ніж двох ресурсів), модель оптимального поєднання відновлюваних та невідновлюваних ресурсів можна подати так, як це зроблено нижче.

Задача (6) набуде вигляду:

$$Y = F(X) \to \max , \tag{8}$$

причому повинні виконуватися умови:

$$\begin{array}{c} 0 \le X \le L_X \\ Y \le Y^{\max} \\ P \cdot X \le c(Y) \end{array} , \tag{9}$$

де X – вектор обсягів використовуваних ресурсів, $X = (X_1, X_2, ..., X_{2n})$; $2n$ – кількість ресурсів, задіяних у виробництві блага; L_X – вектор доступних обсягів ресурсів $L_X = (L_{X_1}, L_{X2}, ..., L_{X_{2n}})$; Y^{max} – максимальна потреба у благі.

Для вектора X приймемо, що ресурс X_i є невідновлюваним та може бути заміщеним відновлюваним ресурсом X_{i+1}. Тоді вартість ресурсів, необхідних для виробництва блага, визначається так:

$$c = P \cdot X ,$$

де P – вектор цін на ресурси X, $P = (P_1, P_2, ..., P_{2n})$.

Для визначення вектора, що задовольнятиме умову, скористаємося теоремою Лагранжа. Функція Лагранжа для задачі (8)–(9) виглядатиме так:

$$L(X, \lambda) = F(X) + \lambda(c - p_1 x_1 - ... - p_{2n} x_{2n}),$$

де λ – множник Лагранжа.

Якщо X^* – умовний екстремум задачі (8) – (9), то існує λ^*, для яких виконуються умови:

$$\frac{\partial}{\partial_{X_i}} L(X^*, \lambda^*) = \frac{\partial}{\partial_{X_i}} F(X^*) - \lambda^* P_i .$$

Якщо $X_i^* > 0$, тоді:

$$\frac{\partial}{\partial_{X_i}} L(X^*, \lambda^*) = \frac{\partial}{\partial_{X_i}} F(X^*) - \lambda^* P_i = 0 .$$

Тоді умови оптимального розподілу ресурсів можна записати так:

$$\frac{\partial F(X^*)}{\partial_{X_i}} = \lambda^* P_i .$$

Цю умову можна записати у вигляді:

$$\frac{\partial F(X^*)}{\partial_{X_i}} \Big/ \frac{\partial F(X^*)}{\partial_{X_{i+1}}} = \frac{P_i}{P_{i+1}} , \; i = (1, ..., 2n) . \tag{10}$$

Умова (10) є розв’язком задачі (8)–(9), і відповідає оптимальному розподілу відновлюваних та невідновлюваних ресурсів, що використовуються при виробництві блага.

Модель (8) – (9) не враховує міжчасових зв’язків, а отже, не визначає оптимального використання ресурсів у часі. Визначимо критерії ефективного використання відновлюваних та невідновлюваних ресурсів із врахуванням міжчасових зв'язків. Розглянемо часовий горизонт виробництва з двох років та визначимо оптимальне використання ресурсів. Таку модель можна подати у вигляді

$$Y = Y_0 + Y_1 \to \max, \tag{11}$$

де Y_0 та Y_1 – обсяги виробленого блага у перший та другий рік відповідно.
При цьому повинні виконуватися такі умови:

$$\begin{aligned} &Y_i \geq D_i \\ &D_i \geq 0 \quad , \\ &i = \overline{(0,1)} \end{aligned} \tag{12}$$

де d – коефіцієнт дисконтування; X_1^0, X_1^1 – обсяги споживання невідновлюваного ресурсу для виробництва блага у перший та другий рік відповідно; X_2^0, X_2^1 – обсяги споживання відновлюваного ресурсу для виробництва блага у перший та другий рік відповідно; де D_i – обсяг потреб у благі в i-й рік.

Також приймемо, що:

$$\begin{aligned} &X_1^0 + X_1^1 = X_1 \\ &\sum_{i=0}^{1} Y_i\left(X_1^i, 0\right) < \sum_{i=0}^{1} D_i \end{aligned} , \tag{13}$$

де X_1 – загальний запас ресурсу.

Умови (13) виключають можливість використання протягом всього часового горизонту лише невідновлюваного ресурсу, без використання відновлюваного, а відповідно передбачають поєднання відновлюваного та невідновлюваного ресурсів.

Введемо вектори $P^0 = \left(p_1^0, p_2^0\right)$ та $P^1 = \left(p_1^1, p_2^1\right)$ – вартість одиниці невідновлюваного та відновлюваного ресурсу в перший та другий рік відповідно.

З огляду на умови, що задовольняють модель (8)–(9), можна стверджувати, що оптимальне поєднання відновлюваних та невідновлюваних ресурсів відзначатиметься, якщо виконуватимуться умова:

$$\frac{\partial F\left(X_1^i, X_2^i\right)}{\partial X_1^i} \Bigg/ \frac{\partial F\left(X_1^i, X_2^i\right)}{\partial X_2^1} = \frac{P_1^i}{P_2^i}, i = \overline{(0,1)}, \tag{14}$$

У короткостроковому періоді (що передбачається задачею (11)–(13) доцільно припустити незмінність цін на відновлювані та невідновлювані ресурси. Тоді, враховуючи міжчасові зв'язки, перепишемо вектор P^1 так:

$$P^1 = \left(p_1^1, p_2^1\right) = \left(p_1^0 \cdot (1+d)^{-1} \cdot (1+r)^{-1}, p_2^0 \cdot (1+d)^{-1}\right),$$

де r – норма дисконтування невідновлюваних природних ресурсів.

У літературі ведуться дискусії, з приводу того, що при врахуванні міжчасових зв'язків, вартість невідновлюваних ресурсів повинна дисконтуватися не лише на "класичний" коефіцієнт дисконтування, який використовується для дисконтування трудокапітальних витрат. Зокрема, в [5–7] зазначається, що враховуючи, що ресурсно-екологічна система звужується, цінність виснажуваних природних ресурсів зростає, тоді як трудокапітальних – зростає. Тому ресурсно-екологічна норма дисконту (в нашому випадку r) – від'ємна [7].

Водночас питання дисконтування вартості відновлюваних ресурсів є доволі дискусійним. Наприклад, у випадку великого запасу та доступності відновлюваного ресурсу споживання його в поточному періоді не обмежує його споживання в наступних періодах і навпаки, а відсутність можливості складування деяких відновлюваних ресурсів нівелює потребу дисконтування їхньої вартості. Водночас, у разі обмеженості доступності відновлюваного ресурсу, дисконтування його вартості видається доцільним та необхідним.

Отже, умову оптимального заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними та поєднання їх при виробництві благ з урахуванням міжчасових зв'язків (14) для задачі (11)–(13) можна переписати так:

$$\frac{\partial F\left(X_1^i, X_2^i\right)}{\partial X_1^i} \Big/ \frac{\partial F\left(X_1^i, X_2^i\right)}{\partial X_2^i} = \frac{P_1^i}{P_2^i \cdot (1+r)^i}, i = \overline{(0,1)}.$$

Перепишемо задачу (11)–(13) для часового горизонту *T*, протягом якого запас невичерпного ресурсу буде вичерпано повністю. Тож цільову функцію (11) запишемо так:

$$Y = \sum_{i=0}^{T} Y_i = \sum_{i=0}^{T} F\left(X_1^{i'}, X_2^{i'}\right) \to \max, \tag{15}$$

де $X_1^{i'}$ та $X_2^{i'}$ – вектори, що визначають обсяги використання невідновлюваних та відновлюваних ресурсів відповідно, для виробництва блага в *i*-му році $X_1^{i'} = \left(X_1^{i'1}, ..., X_1^{i'n}\right)$, $X_2^{i'} = \left(X_2^{i'1}, ..., X_2^{i'n}\right)$;

При цьому повинні виконуватися умови:

$$\begin{gathered} Y_i \geq D_i \\ D_i \geq 0 \\ P_1^i X_1^i + P_2^i X_2^i \leq c(Y_i) \\ Y_i \leq Y_i^{\max} \end{gathered} \tag{16}$$

$$\begin{gathered} \sum_{i=0}^{T} X_1^i = L_{X_1} \\ X_2^i = g\left(X_2 - X_2^i\right). \end{gathered} \tag{17}$$

Зважаючи на вищенаведені умови, цілком очевидно, що цільову функцію (15) можна звести до ряду цільових функцій такого вигляду:

$$F\left(X_1^{i'}, X_2^{i'}\right) \to \max, i = \overline{(0,T)}. \tag{18}$$

Зрозуміло, що задача (18) із урахуванням умов (16)–(17) зводиться до ряду задач типу (8)–(9). Отже, умови (15)–(18) задовольнятимуться, а відповідно відзначатиметься ефективне внутрішнє заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними з урахуванням міжчасових зв'язків, за такого поєднання обсягів використовуваних відновлюваних та невідновлюваних ресурсів, за яких виконуватимуться такі умови:

$$\frac{\partial F\left(X_1^{i'}, X_2^{i'}\right)}{\partial X_1^{i'j}} \Big/ \frac{\partial F\left(X_1^{i'}, X_2^{i'}\right)}{\partial X_2^{i'j}} = \frac{\pi_1(j,i)}{\pi_2(j,i) \cdot (1+r)^i}, i = \overline{(0,T)}, j = \overline{(1,n)},$$

де $\pi_1(j,i)$ та $\pi_2(j,i)$ – ціна невідновлюваного ресурсу $X_1^{i'j}$ та відновлюваного $X_2^{i'j}$ в *i*-й рік відповідно.

Зрозуміло, що для прийняття адекватного рішення про заміщення невідновлюваних ресурсів доцільніше у вищенаведених моделях використовувати економічну оцінку ресурсів, а не їхню ринкову ціну. Тоді функції $\pi_1(j,i)$ та $\pi_2(j,i)$ можемо подати як такі, що визначають економічну оцінку невідновлюваних та відновлюваних ресурсів відповідно.

Висновки та перспективи подальших досліджень. З вищезапропонованих моделей можемо зробити висновок, що основними факторами, які впливають та визначають ефективне заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними, а відповідно на пропорції їхнього використання у виробництві благ, є рівень економічна оцінка ресурсів, очікування щодо зміни рівня цієї економічної оцінки, обсяги запасів невідновлюваних ресурсів, а також рівень технологічної заміни відновлюваних та невідновлених ресурсів. Варто зауважити, що проблема заміщення невідновлюваних ресурсів відновлюваними є набагато складнішою порівняно з проблемою звичайного заміщення факторів, що розглядається в мікроекономіці у межах конкретної виробничої функції. Розгляд відновлюваного ресурсу на макрорівні не завжди може бути аналогією розгляду використання ресурсу на мікрорівні. Причиною цього є те, що на планетарному рівні або ж на рівні біоценозів використання відновлюваних ресурсів може впливати на різні біологічні процеси, заважаючи на те, що вони є складовими екосистем, а відповідно впливають на функціонування природної системи. Це, своєю чергою, вимагає розширення кола факторів, які братимуться до уваги при оцінці ефективного заміщення невідновлюваних енергоресурсів відновлюваними.

1. Chakravorty, Ujjayant; Roumasset, James; and Tse, Kinping. Endogenous Substitution among Energy Resources and Global Warming // Journal of Political Economy 105 (December 1997): 1201–34. 2. Dasgupta, P.S. and G.M. Heal. The optimal use of exhaustible resources // Review of Economic Studies, special issue on exhaustible resources, 1974. 3. Hartwick, John M. (1978) `Substitution among exhaustible resources and intergenerational equity // The Review of Economic Studies 45(2), 347–354. 4. Heal, Georey (1993) `The optimal use of exhaustible resources // In Handbook of Natural Resource and Energy Economics, ed. A.V. Kneese and J.L. Sweeney, vol. III of Handbooks in economics (Amsterdam: Elsevier)chapter 18. 5. Каганович И. Целенаправленность и фактор времени в природосберегающей экономике (по результатам анализа межвременных связей // Изв. АН ЭССР. Т. 32. Общ. науки 1983. №4. 6. Каганович И.З. Сочетание альтернативных стратегий в природопользовании. Модельный подход // Альтернативы развития природоэксплуатирующих отраслей. Сб. трудов. Вып. 12. М.: ВНИИСИ, 1988. 7. Каганович И.З. Альтернативы природопользования и его оценка // Экономика и математические методы. – Т. 27, 1991 Вып. 2. – С. 322–332.