

УДК 330.4:519.8

З. В. Валіулліна,
аспірант,

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕРМІНУ ЗДІЙСНЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОНОВЛЕННЯ

Z. V. Valiullina,
postgraduate,

National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMAL TIMING OF TECHNOLOGICAL RENOVATION

У статті здійснено загальну постановку економіко-математичної моделі та розв'язано її методом динамічного програмування. Визначено, що запропонована модель та алгоритм розрахунку дозволяють визначити оптимальний термін здійснення технологічного оновлення обладнання, яке експлуатується підприємством за визначеними часовими проміжками, та прийняти таке управлінське рішення про його збереження або продаж, щоб сумарні витрати за даний період були мінімальними, а економічний ефект – максимальним. Складено програму практичного застосування та реалізації задачі оптимальному терміну здійснення технологічного оновлення з використанням табличного редактора Microsoft Excel. Розроблена економіко-математична модель та її розрахунки можуть бути використані підприємством для побудови стратегії розвитку, а отримані розрахунки дозволять керівникові прийняти правильне управлінське рішення щодо здійснення технологічного оновлення.

The article presents a general statement of economic and mathematical model and solved it using dynamic programming. Determined that the proposed model and calculation algorithm can determine the optimal timing of technological renovation of equipment operated now for the specified period, and adopt a managerial decision to maintain or sales to total expenses for the period were minimal, and the economic benefit - the maximum. Compiled program of practical application and implementation for optimal timing of technological renovation using tabular editor Microsoft Excel. The economic - mathematical model and its calculations can now be used to build development strategies and the resulting calculations allow the head to make the right management decision to implement technology renovation.

Ключові слова: економіко-математичне моделювання, динамічне програмування, технологічне оновлення, транспортний засіб, оптимізація, ефективність.

Keywords: economic and mathematical models, dynamic programming, technological renovation, vehicle, optimization, efficiency.

Постановка проблеми. В даний час технологічний розвиток підприємств багато в чому обумовлює підвищення матеріального добробуту суспільства. Однак, при цьому, досить важливим є правильне розуміння процесу впровадження технологічних і технічних інновацій на підприємствах, що надають соціально значущі послуги, насамперед у сфері пасажирських автомобільних перевезень. Тому, все більшої актуальності набуває питання технологічного оновлення великих і малих підприємств пасажирського автомобільного транспорту (ППАТ) на основі інноваційного розвитку, оскільки багато в чому саме вони зумовлюють успішне функціонування транспортної системи країни та економіки в цілому, що безпосередньо впливає на підвищення матеріального рівня життя населення.

Як показало проведене дослідження, серед актуальних проблем, які існують в діяльності ППАТ і потребують негайного вирішення, є проблеми пов'язані з техніко-технологічним оновленням. Особливої уваги потребує рухомий склад, який в процесі експлуатації збільшує експлуатаційні витрати на поточний ремонт та обслуговування, стає фізично та морально застарілим і зменшується його продуктивність. Саме тому, з часом, виникає потреба в технологічному оновленні, оскільки подальша експлуатація транспортних засобів чи їх агрегатів обходиться підприємству дорожче, ніж ремонт або заміна. Досить часто використання застарілого рухомого складу або його агрегатів продукує травмування працівників, виникнення аварій, збільшення собівартості послуг, погіршення якості послуг, а це суперечить вимогам сталого розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У вітчизняній та іноземній літературі методам моделювання приділена значна увага, зокрема моделюванню процесу відтворення парків виробничого обладнання підприємства [1, 2], нарахуванню амортизації на темпи розвитку підприємства [3], збалансування стійкості розвитку та підвищення конкурентоспроможності підприємства [4, 5, 6]. У працях [7, 8] більш детально розглянуті методичні підходи до економічної оцінки технологічного оновлення.

Слід зауважити, що проблема забезпечення технологічного оновлення в сучасних умовах не може вирішуватися методами, які існували раніше та використовувалися в планово-директивній економіці. Оскільки сучасні ППАТ розвиваються в ринкових умовах, то необхідний перехід до методик, які передбачають адекватні ринкові умови розвитку та стратегію технологічного оновлення підприємств.

Постановка завдання. Метою нашого дослідження є розробка економіко-математичної моделі оптимального терміну здійснення технологічного оновлення ППАТ з використанням методів динамічного програмування при якій критерієм оптимальності будуть експлуатаційні щорічні витрати, які підлягають мінімізації.

Вклад основного матеріалу дослідження. Оскільки визначення оптимального терміну здійснення технологічного оновлення пропонується знайти через побудову та розв'язання економіко-математичної моделі методом динамічного програмування, тому доцільно розглянути завдання та ряд особливостей, які притаманні динамічному програмуванню [9, с. 366]:

1. Процес поведінки системи розглядається в часі.
2. Стан системи в кожен момент часу однозначно визначається числовими значеннями невеликого набору параметрів.
3. Операція вибору рішення полягає в перетворенні цього набору параметрів у такий же набір з іншими числовими значеннями.
4. Якщо система у розглянутий момент часу перебуває в деякому стані, то її поведінка, в подальшому, визначається цим станом і вибраним управлінням, але не залежить від передісторії (тобто від того, в яких станах перебувала система до цього моменту).

В основі методу динамічного програмування лежить принцип оптимальності Беллмана, при якому оптимальне продовження процесу визначається відносно стану, який досягнуто на даний момент. Основною умовою здійснення цього принципу є така: процес управління повинен бути без зворотнього зв'язку, тобто керування на даному кроці не повинно впливати на попередні кроки. Принцип оптимальності Беллмана: який не був би стан системи перед наступним кроком, керування на даному кроці потрібно вибирати таким чином, щоб вигреш на даному кроці в сумі з оптимальними вигрешами на всіх наступних кроках був максимальним. Математичний запис принципу оптимальності Беллмана можна описати у вигляді функціонального рівняння [10, с. 32]:

$$F_{n-k}(X^k) = \max [W_{k+1}(X^{(k)}, u_{k+1}) + F_{n-k}(X_n^{k+1})], \quad k = 0, \dots, n-1. \quad (1)$$

З часом виникає необхідність заміни обладнання, оскільки майбутня експлуатація призводить до більших витрат, ніж його ремонт чи модернізація. Враховуючи той факт, що експлуатаційні витрати мають зростаючу тенденцію з часом у зв'язку із зношенням обладнання, можемо сформулювати умову вартості експлуатації обладнання r_k за визначений проміжок часу k : $r_1 \leq r_2 \leq \dots \leq r_k$. В свою чергу, залишкова вартість обладнання S_k має спадаючу тенденцію $S_1 \geq S_2 \geq \dots \geq S_k$. Природно вважати, що продуктивність обладнання Π_k у процесі його старіння зменшується $\Pi_1 \geq \Pi_2 \geq \dots \geq \Pi_k$.

Грунтуючись на наукових доробках [9, 10, 11, 12] здійснено загальну постановку економіко-математичної моделі та її розв'язання методом динамічного програмування. Цільовою функцією задачі є мінімізація сумарних витрат при оптимальній стратегії здійснення технологічного оновлення (заміна транспортного засобу)

$$Z_0 = C_0 + \sum_{t=1}^T \mu^{t-1} \cdot r(t) - \mu^T \cdot S(T) \rightarrow \min \quad (2)$$

Оптимальної стратегією здійснення технологічного оновлення, з точки зору всього процесу, є забезпечення мінімальних витрат тільки за останній рік планування. Враховуючи значення цих витрат, можемо зробити висновок, що рішення про технологічне оновлення слід прийняти у випадку, коли витрати від нового транспортного засобу на останньому періоді менші, ніж від того, який експлуатується підприємством в даний момент. Періодом доцільної заміни обладнання є той рік t , для якого виконується система нерівностей

$$\begin{cases} x(t) \leq x(t-1), \\ x(t) \leq x(t+1). \end{cases} \quad (3)$$

Максимальний термін експлуатації транспортних засобів на маршрутах загального користування в Рівненській області відповідно до Розпорядження голови облдержадміністрації від 27.05.2009 № 174 «Про затвердження умов проведення конкурсу з перевезення пасажирів на міжміських та приміських внутрішньообласних автобусних маршрутах загального користування» та п.1.11 складає 10-15 років.

На початок кожного нового року експлуатації необхідно прийняти управлінське рішення про заміну чи модернізацію. Вартість нового транспортного засобу $C_0 = 317$ тис.грн. Вихідні дані про ліквідаційну вартість автобуса марки I-VAN моделі A07A1-60 та експлуатаційні затрати впродовж прогнозованого терміну представлені в табл. 1.

Таблиця 1.

Вихідні дані до розрахунків економіко-математичної моделі для автобуса I-VAN A07A1-60 при заміні

Показник, одиниця виміру	Рік експлуатаційного періоду (t)*									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Щорічні експлуатаційні витрати, тис. грн.	120,2	124,0	126,1	130,0	135,7	139,8	144,3	149,3	154,4	159,7
Ліквідаційна вартість на кінець року, тис. грн.	285,3	268,2	244,0	219,6	208,7	198,2	188,3	178,9	170,0	161,5

Примітки: * – рік експлуатаційного періоду – t* = 2013÷2022, t = t* - 2012.

Таблицю склав та розрахував автор.

Перед розв'язанням задачі оптимального терміну здійснення технологічного оновлення ППАТ, сформулюємо обмеження, які визначають область задачі:

1. Оптимальний план технологічного оновлення включає лише один варіант обладнання.
2. Вартість обладнання, яке спрямовується на технологічне оновлення, не повинна перевищувати заплановану величину інвестицій.
3. Прибуток отриманий від технологічного оновлення спрямовується на заміну обладнання в наступні періоди.
4. При модернізації чи технологічному оновленні підприємства повинна враховуватись потужність підприємства (пасажиропотік).
5. Оптимальним періодом заміни є мінімальне значення витрат.

Розв'язок рівняння 2 розіб'ємо на декілька кроків для полегшення розрахунків. Крім того, розглянемо капітальний ремонт автобуса та придбання нового транспортного засобу замість того, який експлуатується підприємством на даний момент. Результати розрахунків зведемо до табл.2.

На 1-му кроці формується чистий грошовий потік проекту експлуатації нового транспортного засобу, який складається з чистого грошового потоку від інвестицій та чистого грошового потоку від ліквідаційної вартості. На даному кроці розраховується диференціальний грошовий потік, який враховує грошову винагороду проекту від експлуатації нового транспортного засобу у порівнянні з проектом заміни старого. Причому, на даному кроці розраховується номінальний грошовий потік без урахування інфляції та цінності грошей в часі

$$Z_T(j) = \min \begin{cases} C_0 + r(1) - S(j) - S(1), \\ r(j+1) - S(j+1). \end{cases} \quad (4)$$

На 2 -му кроці визначаємо загальні витрати пов'язані з експлуатацією транспортного засобу та ліквідаційну вартість транспортного засобу впродовж експлуатації терміну T (табл. 1).

На 3-му кроці формується чистий грошовий потік проекту експлуатації нового транспортного засобу, який враховує цінність грошей в часі, оскільки запропонована модель передбачає довготривалий період планування

$$EW(t) = \mu^{t-1} \cdot r(t), \quad (5)$$

$$\text{де} \quad \mu = \frac{1}{1+i}. \quad (6)$$

На 4-му кроці визначаємо загальні зведені експлуатаційні витрати пов'язані з придбанням, експлуатацією та списанням транспортного засобу впродовж

планового періоду T , оскільки кінцевою метою є мінімізація щорічних витрат

$$ZZEW(T) = \sum_{t=1}^T \mu^{t-1} \cdot r(t). \quad (7)$$

На 5-му кроці визначасмо зведену ліквідаційну вартість обладнання впродовж планового періоду T з урахуванням цінності грошей у часі

$$ZLW(T) = \mu^T \cdot S(T). \quad (8)$$

На 6-му кроці визначасмо загальні зведені витрати пов'язані з придбанням, експлуатацією та списанням транспортного засобу впродовж планового періоду T

$$ZZW(T) = C_0 + ZZEW(T) + ZLW(T) \quad (9)$$

На 7-му кроці визначасмо еквівалентні щорічні витрати пов'язані з придбанням, експлуатацією та списанням транспортного засобу впродовж планового періоду T . Оптимальне значення $ERW(T)$ знаходиться за допомогою методу диференціального розрахунку. Таким чином отримане оптимальне значення еквівалентних щорічних витрат передбачає здійснення технологічного оновлення

$$ERW(T) = \frac{1 - \mu}{1 - \mu^T} \cdot ZZW(T) = \frac{1 - \mu}{1 - \mu^T} \cdot (C_0 + \sum_{t=1}^T \mu^{t-1} \cdot r(t) - \mu^T \cdot S(T)). \quad (10)$$

На 8-му кроці приймасмо рішення про оптимальний термін здійснення технологічного оновлення. Визначасмо елемент з мінімальним значенням в масиві: якщо виконується умова (3), то отримане значення відповідає оптимальному терміну здійснення технологічного оновлення

$$T^* : ERW(T^*) = \min \{ ERW(T) | T = \overline{1, R} \}. \quad (11)$$

Таблиця 2.
Розрахунок оптимального терміну технологічного оновлення при заміні

Показник, одиниця виміру	Тривалість експлуатаційного періоду (T), років									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Зведені щорічні експлуат. витрати, тис. грн.	124,2	104,5	88,6	76,7	65,2	56,0	48,2	41,6	35,9	30,9
Загальні зведені експлуат. витрати, тис. грн.	124,2	228,7	317,3	394,1	459,3	515,3	563,6	605,2	641,0	672,0
Зведена ліквідаційна вартість ТЗ, тис. грн.	240,4	188,3	142,8	107,1	84,8	67,1	53,1	42,1	33,3	26,4
Загальні зведені витрати, тис. грн.	200,8	357,4	491,5	604,0	691,5	765,2	827,4	880,1	924,7	962,6
Еквівалентні щорічні витрати, тис. грн.	200,8	194,9	194,5	194,4	192,7	191,8	191,3	191,1	191,3	192,0

Примітка. Складено та розраховано автором.

Для нашого прикладу, результати розрахунків запропонованої моделі, дозволили визначити оптимальний термін здійснення заміни рухомого складу. Отже оптимальним терміном заміни автобуса I-VAN A07A1-60 є восьмий рік експлуатації ($ERW_n = 191,1$ тис.грн).

Проте для прийняття остаточного управлінського рішення про збереження чи продаж автобуса, необхідно провести розрахунки за умови збереження та модернізації транспортного засобу. В табл. 3 представимо вихідні дані до економіко-математичної моделі починаючи з дев'ятого року експлуатації.

Таблиця 3.
Вихідні дані до розрахунків економіко-математичної моделі для автобуса I-VAN A07A1-60 при збереженні

Показник, одиниця виміру	Рік експлуатаційного періоду (t)*									
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Щорічні експлуатаційні витрати, тис. грн.	154,4	159,7	165,6	171,9	178,2	184,5	190,9	197,4	192,5	199,7
Ліквідаційна вартість на кінець року, тис. грн.	170,0	161,5	153,4	145,7	138,4	131,5	124,9	117,4	110,4	103,8

Примітки: * – рік експлуатаційного періоду – t* = 2020÷2029, t = t* - 2012.

Таблицю склав та розрахував автор.

Здійснимо розрахунок оптимального терміну здійснення технологічного оновлення за умови збереження транспортного засобу за формулами (4) –(11), впродовж періоду T . Порядок розрахунків представлено в табл. 4.

Таблиця 4.
Розрахунок оптимального терміну технологічного оновлення при збереженні

Показник, одиниця виміру	Тривалість експлуатаційного періоду (T), років									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Зведені щорічні експлуат. витрати, тис. грн.	154,4	133,1	115,0	99,5	85,9	74,2	63,9	55,1	44,8	38,7
Загальні зведені експлуат. витрати, тис. грн.	154,4	287,5	402,5	502,0	587,9	662,1	726,0	781,1	825,9	864,6
Зведена ліквідаційна вартість ТЗ, тис. грн.	141,6	112,1	88,8	70,3	55,6	44,0	34,9	27,3	21,4	16,8
Загальні зведені витрати, тис. грн.	222,8	385,4	523,8	641,7	742,3	828,0	901,1	963,8	1014,5	1057,8
Еквівалентні щорічні витрати, тис. грн.	222,8	210,2	207,2	206,6	206,8	207,5	208,3	209,3	209,7	210,3

Примітка. Складено та розраховано автором.

Зважаючи на складність та масштабність розрахунків було складено програму практичного застосування та реалізації задачі оптимальному терміну здійснення технологічного оновлення з використанням табличного редактора Microsoft Excel, яка значно пришвидшила та спростила процес розрахунку.

Висновки. Отже, за результатами проведених розрахунків, можемо зробити такий висновок: основною перевагою методу динамічного програмування для

визначення оптимального терміну здійснення технологічного оновлення ППАТ над статистичними методами є те, що він дозволяє визначити оптимальну стратегію експлуатації обладнання. Крім того, динамічне програмування, як зазначено в праці [9, с. 367], це довгострокове планування, з урахуванням майбутнього, а не короткострокове, яке керується принципом «аби добре зараз, а там – що буде», та дозволяє знайти оптимальне управління в багатокроковому процесі.

Розроблена економіко-математична модель та її розрахунки можуть бути використані підприємством для побудови стратегії розвитку, а отримані розрахунки дозволять керівникові прийняти правильне управлінське рішення щодо здійснення технологічного оновлення.

Література.

1. Ширяєва Л. В. Моделі відтворення парків обладнання в системі управління підприємством : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. екон. наук : спец. 08.00.11 / Л. В. Ширяєва: Одеський національний морський університет. – Одеса, 2009. – 29 с.
2. Щербань О. Д. Оптимізація відтворення машинного парку автотранспортних підприємств / О. Д. Щербань // Бізнес Інформ. – 2011 – № 4 – С. 53–55.
3. Козьменко С. Н. Амортизация и оптимальные сроки службы техники: монография / С. Н. Козьменко, Т. А. Васильева, С. П. Ярошенко и др. – Сумы: Деловые перспективы, 2005. – 232 с.
4. Біліченко В. В. Моделювання стратегій розвитку організаційно-технічних виробних систем на автомобільному транспорті / В. В. Біліченко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 2. – С. 103–107.
5. Економіка підприємства в умовах ринкових перетворень : монографія / за заг. ред. О. Г. Янкового. – Одеса : Анлант, 2010. – 390с.
6. WHITE PAPER Roadmap to a Single European Transport Area [Електронний ресурс] / Towards a competitive and resource efficient transport system, Brussels, 28.03.2011. – Режим доступу : http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_en.pdf
7. Валіулліна З. В. Методичні підходи до оцінки ефективності забезпечення технологічного оновлення / З. В. Валіулліна // Science and Education a New Dimension : Humanities and Social Science. 2013. – vol. 6. p. 123–128.
8. Валіулліна З. В. Теоретико-методичні підходи до забезпечення технологічного оновлення підприємств пасажирського автомобільного транспорту / З. В. Валіулліна // Вісник економіки транспорту і промисловості : Збірник науково-практичних статей. 2013. – Вип. 42. – С. 271–275.
9. Бережная Е. В. Математические методы моделирования экономических систем: Учеб. пособие / Е. В. Бережная, В. И. Бережной. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 432 с.
10. Тимейчук О. Ю. Математичні методи і моделі в розрахунках на ЕОМ : Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення / О. Ю. Тимейчук. – Рівне : НУВГП, 2009. – 58 с.
11. Исследование операций. Методологические основы и математические методы : в 2 т. / под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М. : Высшая школа, 1981. – Т. 1. – 298 с.
12. Карагодова О. О. Дослідження операцій: навч. посібник / О. О. Карагодова, В. Р. Кігель, В. Д. Рожок. – К. : Центр учбової літератури, 2007. – 256 с.

References.

1. Shyriaieva, L.V. (2009), “Models play park equipment in the enterprise management”, Ec.D Thesis, Mathematical Methods, Models, and Information Technologies in Economics, Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine.
2. Scherban', O.D. (2011), “Optimization playback machine fleet trucking companies”, *Biznes Inform*, vol. 4, pp. 53–55.
3. Koz'menko, S.N. Vasil'eva, T. A. and Jaroshenko, S. P. (2005), *Amortizacija i optimal'nye sroki sluzhby tehniki* [Depreciation and optimum equipment life], Delovye perspektivy, Sumy, Ukraine.
4. Bilichenko, V.V. (2009), “Modeling strategies of organizational and technical systems precious in road transport”, *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu*, vol. 2, pp. 103–107.
5. Yankovs'kyj, O.H. (2010), *Ekonomika pidpryemstva v umovakh rynkovykh peretvoren'* [Business Economics in terms of market reforms], Anlant, Odessa, Ukraine.
6. Towards a competitive and resource efficient transport system (2011), “WHITE PAPER Roadmap to a Single European Transport Area”, available at: http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_en.pdf (Accessed 25December 2013).
7. Valiullina, Z.V. (2013), “Methodological approaches to evaluating effectiveness and technological renovation”, *Science and Education a New Dimension : Humanities and Social Science*, vol. 6, pp. 123–128.
8. Valiullina, Z.V. (2013), “Theoretical and methodological approaches to assess the effectiveness of providing technological renovation”, *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti*, vol. 42, pp. 271–275.
9. Berezhnaja, E.V. (2006), *Matematicheskie metody modelirovanija jekonomicheskikh system* [Mathematical methods of modeling of economic systems], 2nd ed, Finansy i statistika, Moscow, Russia.
10. Tymejchuk, O.Yu. (2009), *Matematychni metody i modeli v rozrakhunkakh na EOM* [Mathematical methods and models in computer calculations], NUVGP, Rivne, Ukraine.
11. Mouder, Dzh. and Jelmagrabi, S. (1981), *Issledovanie operacij. Metodologicheskie osnovy i matematicheskie metody* [Research Operations. Methodological foundations and mathematical methods], Vysshaja shkola, Moscow, Russia.
12. Karahodova, O.O. Kihel' V.R. and Rozhok V.D. (2007), *Doslidzhennia operatsij* [Research operations], Tsentr uchbovoi literatury, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 13.02.2014 р.



ТОВ "ДКС Центр"