

Юлія Володимирівна ІГНАТОВА

кандидат економічних наук,
доцент кафедри економіко-математичного моделювання,
Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана
E-mail: yuliia.ihnatoва@kneu.ua

Ліна Петрівна ШЕНДЕРІВСЬКА

кандидат економічних наук,
доцент кафедри організації видавничої справи, поліграфії і книгорозповсюдження,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
E-mail: lina.shenderivska@gmail.com

Ольга Ігорівна ОСИПОВА

кандидат економічних наук,
старший викладач кафедри економіко-математичного моделювання,
Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана
E-mail: osypovaolha1987@gmail.com

**УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ ПОТЕНЦІАЛОМ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ
ІНСТРУМЕНТАРІЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Ігнатова, Ю. В. Управління технічним потенціалом підприємства на основі інструментарію імітаційного моделювання [Текст] / Юлія Володимирівна Ігнатова, Ліна Петрівна Шендерівська, Ольга Ігорівна Осипова // Економічний аналіз: зб. наук. праць / Тернопільський національний економічний університет; редкол.: О. В. Ярошук (голов. ред.) та ін. – Тернопіль: Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету «Економічна думка», 2017. – Том 27. – № 1. – С. 182-191. – ISSN 1993-0259.

Анотація

Обґрунтовано значення оптимізації технічного обслуговування основних засобів для забезпечення ефективного розвитку підприємства. Базовою стратегією заміни устаткування (деталей) обрано таку, що гарантує безвідмовну роботу устаткування і мінімальні витрати на технічне обслуговування. Здійснено математичну формалізацію визначення кількості несправностей за різних співвідношень міжремонтного періоду та максимальної тривалості функціонування компонентів устаткування. Використано статистичний та імітаційний підходи для оптимізації планування ремонту та заміни обладнання, що дозволило врахувати відповідно дискретний та неперервний розподіл ймовірностей. Визначено етапи розв'язку задачі заміни устаткування (компонентів) із використанням імітаційного моделювання. Запропоновано і застосовано таблицю вартості заміни устаткування (деталей) для ухвалення рішення про подальше технічне обслуговування основних засобів.

Ключові слова: заміна устаткування; імітаційна модель; статистична модель; технічне обслуговування.

Yuliia Volodymyrivna IGNATOVA

PhD in Economics,
Associate Professor,
Department of Economic and Mathematical Modelling,
Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman
E-mail: yuliia.ihnatoва@kneu.ua

Lina Petrivna SHENDERIVSKA

PhD in Economics,
Associate Professor,
Department of Organization of Printing, Publishing and Book Distribution,
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
E-mail: lina.shenderivska@gmail.com

Olha Ihorivna OSYPOVA

PhD in Economics,
Senior Teacher,
Department of Economic and Mathematical Modelling,
Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman
E-mail: osypovaolha1987@gmail.com

ENTERPRISE TECHNICAL POTENTIAL MANAGEMENT ON THE BASIS OF SIMULATION MODELLING TOOLS

Abstract

The optimization value of maintenance facilities in order to ensure the effective development of the company is grounded. Conceptual bases of the effective management of the maintenance and replacement of fixed assets are considered in the article. The importance to ensure the competitiveness of products with the aim to prevent lowering of product quality is determined. The necessity of a high level of discipline of statistical observations to ensure forecasting objectivity of technical condition of fixed assets is grounded. To solve the task of increasing the efficiency of maintenance and replacement of equipment the usage of statistical and simulation approaches is offered. In order to find the optimal time between maintenance (replacement parts), that will minimize costs, the model of expected failures is applied. The model is based on the time interval and the average cost of replacement parts. The use of simulation approach has allowed building of a model of replacement equipment or parts on the basis of continuous probability distribution of breakdowns occurrence. The proposals for the optimal length of time to review and eliminate breakdowns of equipment have become the results of developed models testing.

Keywords: replacement of equipment; simulation model; statistical model; maintenance.

JEL classification: C13, D20, L23

Вступ

Ефективне управління технічним потенціалом підприємства має важливе значення для його розвитку, що пов'язано з вагомістю впливу основних засобів у сукупності їх кількісних і якісних характеристик, а саме: фізичного стану, прогресивності, функціональності, комплектності, здатності вирішувати актуальні виробничі завдання, на конкурентоздатність продукції і господарюючого суб'єкта. Основні засоби переважають у структурі капіталу підприємств багатьох галузей, тому в сучасних умовах обмеженості власних ресурсів та високої вартості залучення коштів для формування і розвитку технічного потенціалу вирішення завдання удосконалення процесу технічного обслуговування основних засобів, до критичних параметрів якого належать своєчасність ремонту та мінімізація витратомісткості, є актуальним і необхідним, а визначення моменту часу вичерпання зносостійкості технічних засобів має істотне значення для планування інноваційно-інвестиційної діяльності підприємства, забезпечення економічності у використанні, обслуговуванні устаткування.

Визначенню чинників, які впливають на ступінь зносу устаткування, на його прогнозування звертається значна увага у наукових працях [1-13]. Будуючи економіко-математичні моделі, які описують технічний стан основних засобів, вчені зосереджують увагу на різних параметрах і підходах. Осипою Н. В. [1], за результатами кореляційно-регресійного аналізу, побудовано багатофакторну модель

для визначення строку корисної експлуатації устаткування залежно від експлуатаційних умов. Математичну модель прогнозування технічного обслуговування – лінійне багатовимірне рівняння регресії – запропоновано також Матусевичем О. О. та Міроновим Д. В. [2], де як аргументи узято технічний стан обладнання та показники управління технічним станом, що дозволяє ухвалювати рішення про проведення ремонту устаткування на основі зіставлення фактичних і цільових показників, визначених за моделлю, для виявлення потенційних зон ризику. Малаксіано М. О. [3], на основі застосування методу імітації відпалу, розроблено математичну модель для визначення оптимального строку проведення ремонту, з урахуванням зміни коефіцієнту зайнятості обладнання, що актуально для сезонних виробництв та в умовах економічної нестабільності. Водночас використання цієї моделі на практиці потребує відповідних коригувань у виборі стратегії оптимального строку для здійснення ремонту, оскільки коефіцієнт зайнятості може набувати випадкових значень. Ефективний спосіб використання часу простоїв устаткування, зокрема проведення технічного обслуговування, запропонував Колос О. Л. [4] і описав математичною моделлю, яка побудована із застосуванням математичного апарату напівмарковських процесів. Вченим враховано припущення про відкладений початок технічного обслуговування, якщо устаткування використовуватиметься за основним функціональним призначенням, а це може несприятливо позначитися на ефективності витрат на утримання і експлуатацію устаткування.

Важливим завданням управління основними засобами підприємства є також проведення їх своєчасної заміни. У сучасних умовах високих темпів науково-технічного прогресу актуальним є підхід, запропонований Адамовською В. С. [5], згідно з яким для визначення строку заміни обладнання потрібно враховувати не лише фізичний знос, але і моральний знос. Шаровим Р. Ю. [6] як базову умову заміни устаткування прийнято таку, як перевищення витрат на ремонт у зіставленні з доходом від експлуатації. Вченим розроблена математична модель доходу від використання устаткування, але вона містить ідеалістичне припущення про нескінченне зростання доходу при збільшенні зносу основних засобів.

Як показав аналіз наукових праць, до актуальних наукових дискусій належить і вибір класу моделей, а саме: статичних або динамічних, для прогнозування технічного стану устаткування. Здійснюючи загальний огляд методів прогнозування, Кривенко Н. О. [7] доведено важливість застосування статичних моделей як таких, що дозволяють врахувати нелінійність та багатовимірність процесів, які впливають на технічний стан об'єктів, водночас зроблено висновок про пріоритетність використання динамічних математичних моделей. Управління технічним обслуговуванням ідентифіковано як задачу управління динамічними процесами Сахаровим В. В., Кузьминим А. А., Чертковим А. А. [8]. Науковцями запропоновано алгоритм її розв'язання із застосуванням матриці Крилова і апробовано для вирішення актуального завдання – мінімізації виплат у випадку залучення коштів на заміну спрацьованого обладнання і оновлення основних засобів.

Одне з найбільш ґрунтовних досліджень предметної області репрезентовано групою науковців у [9], де викладено доведення доцільності застосування динамічного програмування для оптимізації заміни обладнання, метою якого визначено скорочення витрат. Вченими враховано, що щорічні витрати на експлуатацію і технічне обслуговування з таким самим розподілом ймовірностей належать до витрат у межах будь-якого сценарію. При зіставленні підходів динамічного програмування перевага надана стохастичному підходу (SDP), що враховує невизначеність, на відміну від диференційного (DDP), який базується на стабільності вихідних даних або їх передбачуваності. Дослідниками [9] запропоновані технічні рішення задачі оптимізації заміни обладнання, зокрема графічний інтерфейс користувача на основі Java, Макроаналізатор даних SAS, засіб оптимізації на основі динамічного програмування.

На основі вивчення наукових праць встановлено, що переважно вчені відокремлено досліджують питання прогнозування технічного обслуговування та заміни обладнання, водночас потрібні моделі, які дозволять комплексно вирішувати задачу щодо проведення ремонту або заміни устаткування, будуть максимально наближені до практичних умов, а також адаптовані до організації господарської діяльності вітчизняних підприємств.

Мета статті

Метою статті є реалізація процесу прогнозування технічного стану основних засобів з метою забезпечення ефективності витрат підприємства.

Виклад основного матеріалу дослідження

Існує декілька підходів до задач заміни устаткування. Зокрема, бухгалтерський передбачає, що знос устаткування є поступовим і зазвичай момент заміни є передбачуваним. Інший підхід – статистичний – стверджує, що знос або поломка є швидким і неочікуваним та в багатьох випадках може спричинити серйозні проблеми. З цієї причини компанії часто вживають превентивні заходи, у т. ч. обов'язкові огляди устаткування та його завчасну заміну до настання несправності. Цей підхід є протилежним до поширеного підходу заміни устаткування лише у разі його відмови.

Успішність продажу будь-якого продукту значною мірою залежить від його надійності і зобов'язань виробника гарантувати його справність. А отже, постає важливе питання про прогнозування моменту можливих несправностей у роботі устаткування. Для вирішення цієї проблеми протягом часу випуску продукції збирається статистична інформація про поведінку устаткування під час випробувальних тестів і на цій основі будується діаграма відсотка несправностей устаткування. Далі ухвалюють рішення про вибір найменш *затратного способу* заміни обладнання, який базується на показнику середнього часу між ймовірними несправностями. Інший спосіб спирається на *значущість несправності*. Так, наприклад, відмова однієї фари на автомобілі є некритичною і незатратною, і, можливо, більш вигідною є заміна всіх чотирьох фар одразу.

На наш погляд, задачу заміни устаткування доцільно, зокрема, розв'язати двома методами: *статистичним* та *імітаційним*. Розглянемо обидва методи на числовому прикладі та зіставимо отримані результати.

Спочатку розглянемо *статистичний метод* розв'язку задачі заміни устаткування. Сутність цього методу полягає в тому, що статистична історія випробувальних тестів устаткування використовується для визначення типу можливої неполадки. Розглянемо застосування зазначеного методу на прикладі поліграфічного підприємства ТОВ «Новий друк» (м. Київ), яке використовує у виробництві 50 машин, які мають специфічні компоненти і можуть зламатись у будь-який час. Дані щодо функціонування 200 машин, які показують, як довго вони можуть працювати без несправностей, наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Статистичні дані несправностей устаткування ТОВ «Новий друк»*

Показник	Величина показника			
	1	2	3	4
Період роботи без поломки (місяців)				
Кількість компонентів (шт.)	30	50	60	60
Ймовірність поломки	0,15	0,25	0,3	0,3

*Сформовано авторами на основі даних ТОВ «Новий друк»

Припустимо, що компоненти устаткування функціонують фіксований період часу (в місяцях) і виходять з ладу в кінці періоду (місяця). Заміна однієї деталі коштує підприємству 20 грн, заміна всіх компонентів одночасно – 200 грн. А отже, керівництву підприємства необхідно обрати такий метод заміни компонентів, який би гарантував на 100 % роботу устаткування, а витрати були б найменшими. Введемо такі позначення. Нехай L – максимальна тривалість функціонування компонентів устаткування (у нашому випадку $L=4$ місяці), n – загальна кількість машин (компонент), що розглядаються ($n=50$), P_t – ймовірність несправності устаткування в кінці відповідного періоду. Тоді з використанням [10, 11] кількість несправностей F_m в кожному місяці m можна знайти за формулами:

$$\text{для } m \leq L, F_m = nL P_m + \sum_{t=1}^{m-1} P_t \cdot F_{m-t}; \quad (1)$$

$$\text{для } m > L, F_m = \sum_{t=1} P_t \cdot F_{m-t}. \quad (2)$$

Висунемо гіпотезу, що кількість компонентів, які можуть зламатись, дорівнює кількості машин. Тобто кількість несправностей дорівнює кількості наявного устаткування. З моделі, зображеної на рис. 1, можна побачити, що очікувана їх кількість за 15-місячний період збігається із середньою кількістю несправностей F_{av} :

$$F_{av} = \frac{n}{L} = 50 \cdot (1 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,3) = 18,18$$

Тоді дві основні стратегії підприємства по заміні устаткування є такими:

1. Заміна компонентів відбувається тоді, коли устаткування зламається. Вартість цих заходів дорівнює добуткові F_{av} на вартість заміни компонентів, де F_{av} – середня кількість несправностей за місяць. З рис. 1 $F_{av}=18,18$. А отже, вартість заміни компонентів устаткування за місяць дорівнює $18,18 \cdot 20 \text{ грн} = 363,60 \text{ грн}$.

2. Заміна компонентів тоді, коли устаткування зламається, або заміна всіх компонентів у фіксований період часу, незалежно від того, зламаються вони чи ні.

Отже, розглянутий підхід передбачає знаходження оптимального інтервалу часу між замінами, який дозволить мінімізувати витрати. Підприємство може використати дані з моделі очікуваних несправностей для побудови таблиці вартості заміни устаткування, оскільки неможливо замінити лише частину компонентів.

Далі перейдемо до вартості заміни устаткування. Нагадаємо, що вартість заміни компонентів машини дорівнює добутковій F_{av} на вартість заміни, яка складає 20 грн за одну деталь або 200 грн за всі деталі одночасно. На основі цих даних розробимо модель вартості заміни устаткування, яку зображено на рис. 2.

Приклад моделі очікуваних поломок устаткування ТОВ "Новий Друк"									
Кількість машин, n =		50							
Строк роботи (місяці) =	1	2	3	4	Всього:	Середній час роботи деталі (місяців) = 2,75			
Кількість деталей =	30	50	60	60	200	Середня кількість поломок за місяць, F_{av} = 18,18			
Ймовірність поломки	0,15	0,25	0,3	0,3	Початкова інформація подана в клітинках, що зафарбовані				
Матриця ймовірностей поломки, P_t					Матриця поломок, F_m				
Місяць	1	2	3	4	К-ть поломок	1	2	3	4
1	0,15					50			
2	0,15	0,25			F1=	7,5	50		
3	0,15	0,25	0,3		F2=	13,63	7,5	50	
4	0,15	0,25	0,3	0,3	F3=	18,92	13,63	7,5	50
5	0,15	0,25	0,3	0,3	F4=	23,49	18,92	13,63	7,50
6	0,15	0,25	0,3	0,3	F5=	14,59	23,49	18,92	13,63
7	0,15	0,25	0,3	0,3	F6=	17,83	14,59	23,49	18,92
8	0,15	0,25	0,3	0,3	F7=	19,05	17,83	14,59	23,49
9	0,15	0,25	0,3	0,3	F8=	18,74	19,05	17,83	14,59
10	0,15	0,25	0,3	0,3	F9=	17,30	18,74	19,05	17,83
11	0,15	0,25	0,3	0,3	F10=	18,34	17,30	18,74	19,05
12	0,15	0,25	0,3	0,3	F11=	18,41	18,34	17,30	18,74
13	0,15	0,25	0,3	0,3	F12=	18,16	18,41	18,34	17,30
14	0,15	0,25	0,3	0,3	F13=	18,02	18,16	18,41	18,34
15	0,15	0,25	0,3	0,3	F14=	18,27	18,02	18,16	18,41
16	0,15	0,25	0,3	0,3	F15=	18,21	18,27	18,02	18,16
Fm наближається до середнього F_{av}									

Рис. 1. Модель очікуваних несправностей устаткування ТОВ «Новий друк», статистичний підхід*

*Власна розробка на основі формул (1)-(2)

Вартість заміни однієї деталі, C_i =		20						
Вартість заміни групи деталей, C_g =		200						
Мінімаль вартість заміни деталей за місяць =		320						
Найкраще рішення щодо заміни деталей кожні		2 місяці						
		Вартість заміни однієї деталі чи групи деталей кожного місяця						
Місяць	Ціле, F_i	Вартість F_i	1	2	3	4	5	6
1	8	160	160	160	160	160	160	160
2	14	280		280	280	280	280	280
3	19	380			380	380	380	380
4	24	480				480	480	480
5	15	300					300	300
6	18	360						360
Вартість заміни групи деталей, C_g =		200	200	200	200	200	200	200
Загальна вартість заміни =		360	640	1020	1500	1800	2160	
Середня вартість заміни деталей за місяць =		360	320	340	375	360	360	

Рис. 2. Модель вартості заміни устаткування ТОВ «Новий друк», статистичний підхід*

*Власна розробка

З наведених розрахунків (рис. 2) можна зробити висновок, що оптимальний інтервал заміни складає 2 місяці, з середньомісячною вартістю заміни 320 грн. виявилось недоцільним замінити все устаткування в кінці 1 місяця, оскільки кількість несправностей є незначною, у зіставленні з середньою їх кількістю, яка дорівнюють 18; 8 компонент потребують заміни в перший місяць, і вартість їх заміни складає 160 грн. Розподіл ймовірностей несправностей (рис. 1) підтверджує знайдене рішення, оскільки ймовірність в перший місяць дорівнює 0,15 і є меншою у зіставленні з іншими місяцями.

Загалом розподіл ймовірностей несправностей може бути використаний для знаходження оптимального інтервалу заміни устаткування. Наприклад, розглянемо компонент останнього, який функціонує протягом 6 періодів часу (місяців, років), і відповідно ймовірності несправностей складатимуть 0,05; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3 та 0,3 за шість періодів. Позаяк ймовірності за перші три періоди є меншими у зіставленні з останніми трьома, то раціонально припустити, що заміну всіх компонентів

необхідно здійснювати кожні 3 місяці. Підтвердимо це припущення, використовуючи загальновідомий метод «Що—якщо». У таблиці 2 аналізу «Що—якщо» наведено, як змінюватимуться щомісячні витрати на заміну компонент при зміні витрат на заміну всіх одночасно з 200 грн до 400 грн.

Таблиця 2. Аналіз «Що-якщо» витрат на заміну деталей за 6 місяців*

Витрати	1	2	3	4	5	6
200грн	360	320	340	375	360	360
300грн	460	370	373	400	380	377
400грн	560	420	407	425	400	393

*Власні розрахунки

Перейдемо до розгляду *імітаційної моделі* розв'язку задачі заміни устаткування. Існує безліч підприємств, які використовують для виробництва своєї продукції машинне обладнання. Тому при його впровадженні потрібно скласти оптимальний план використання та заміни обладнання. Використовуючи статистичні дані, можна зробити припущення про те, що процес заміни деталей підпорядкований дискретному розподілу ймовірностей. Дискретний розподіл ймовірностей передбачає, що знос устаткування поділяється на певні категорії, тобто поломка може статися, наприклад, через 1, 2, 3 місяці, але не може статися в 0,3; 1,2 чи 2,7 місяця. Такий підхід є дуже обмеженим, оскільки несправність може виникнути в будь-який час, тобто вона супроводжується неперервним розподілом ймовірностей. Тоді для розв'язання такої задачі доцільно використати імітаційне моделювання.

Розглянемо детальніше імітаційний підхід на прикладі ще одного поліграфічного підприємства – ТОВ «Юнівест Маркетинг» (м. Фастів). Технічною службою ТОВ «Юнівест Маркетинг» зібрано статистичну інформацію щодо несправностей 10 ниткошвейних машин. Ймовірність несправності може відбутися 1 раз на 10 тижнів. У табл. 3 наведено статистичну інформацію за 50 тижнів.

Таблиця 3. Статистичні дані несправностей ниткошвейних машин ТОВ «Юнівест Маркетинг»*

Показник	Величина показника				
	1	2	3	4	5
Номер інтервалу	1	2	3	4	5
Інтервал (10 тижнів)	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50
Ймовірність	0,05	0,10	0,20	0,30	0,35

*Сформовано на основі даних ТОВ «Юнівест Маркетинг».

Якщо ниткошвейні машини оглянути і відремонтувати у вихідні дні, то витрати складатимуть 200 грн за одиницю устаткування. Якщо ниткошвейна машина зламається у робочі дні, то ремонт кожної з них обійдеться в 1000 грн. Отже, керівництву підприємства необхідно визначити, яку стратегію по ремонту устаткування обрати: чи ввести профілактичні заходи з огляду ниткошвейних машин, чи ремонтувати їх, лише коли вони зламаються.

Для того, щоб знайти неперервний закон розподілу ймовірностей, необхідно побудувати функцію, яка найкраще відповідає статистичним даним про несправності ниткошвейних машин. Спочатку визначимо відносну частоту їх настання (табл. 4) і побудуємо графік, у якому по осі X знаходяться інтервали між несправностями, а по осі Y – відносна частота.

Таблиця 4. Відносна частота настання несправностей ниткошвейних машин ТОВ «Юнівест Маркетинг»*

Показник	Величина показника				
	1	2	3	4	5
Інтервал (10 тижнів)	1	2	3	4	5
Ймовірність	0,05	0,10	0,20	0,30	0,35
Відносна ймовірність	0,05	0,15	0,35	0,65	1,00

*Розраховано авторами.

Використовуючи дані таблиці 4, легко побудувати функцію розподілу відносної ймовірності, а також визначити лінію тренду. Функція тренду може бути лінійною, логарифмічною, поліноміальною, степеневою, експоненціальною та ковзного середнього. Визначимо функціональну залежність виду $y = 0,0462x^{1,88}$ і проаналізуємо знайдену функцію регресії.

Оскільки значення Y є відомим, а X – невідомим, то отримуємо

$$x = \left(\frac{y}{0,462} \right)^{0,532}$$

Залежність виду $y = ax^b$ можна отримати за допомогою регресійного аналізу MS Excel. Тренд є неперервною функцією розподілу відносної ймовірності, яка дозволяє визначити ймовірність несправності в будь-який момент часу. Далі згенеруємо останню для ниткошвейної машини за допомогою функції СЛЧИС() MS Excel для того, щоб визначити коли вона станеться. Так, наприклад, якщо припустити, що несправність станеться з ймовірністю 0,58, то:

$$x = \left(\frac{0,58}{0,462} \right)^{0,532} = 3,8.$$

Тоді інтервал між несправностями становить $3,8 \cdot 10$ тижнів = 38 тижнів. Результати реалізації вищезазначеного алгоритму наведено на рис. 3.

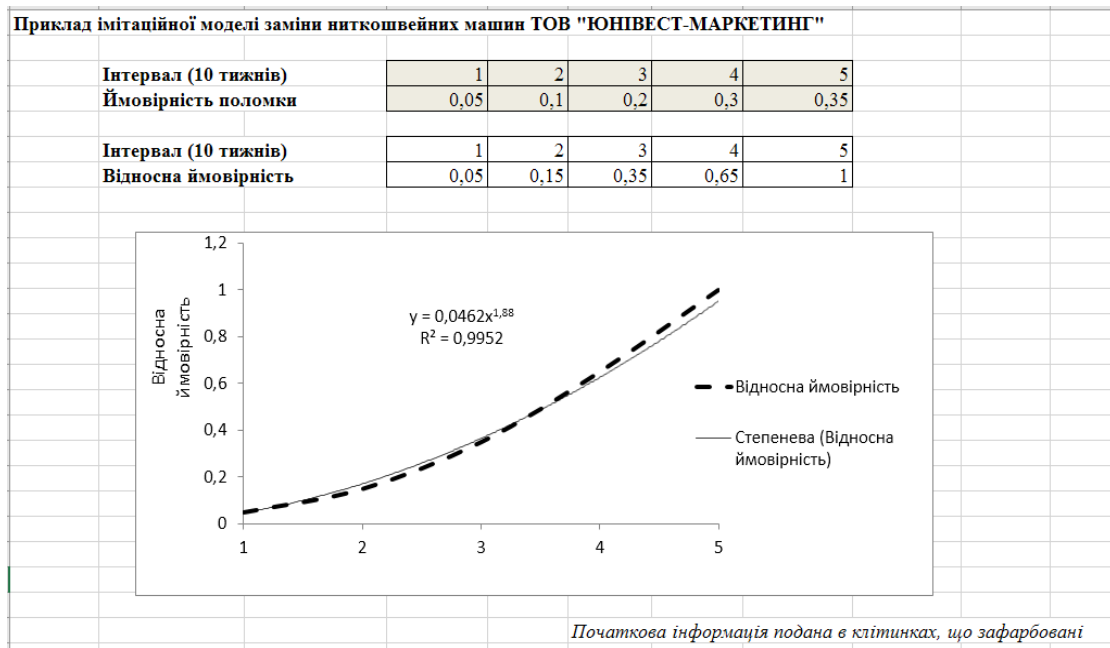


Рис. 3. Модель заміни ниткошвейних машин*

*Власна розробка.

Наступним кроком необхідно здійснити імітаційне моделювання несправностей ниткошвейних машин. Для цього використаємо функцію СЛЧИС() MS Excel. Результати моделювання наведено на рис.

4. Логіка визначення методу заміни устаткування є такою ж, як і в попередньому (статистичному) підході. Оскільки огляд і полагодження однієї ниткошвейної машини коштує 200 грн, то огляд і полагодження групи ниткошвейних машин становить: $10 \cdot 200 \text{грн} = 2000 \text{грн}$. Очікувана кількість несправностей F_i для періоду i ($i = 1-5$) округлюється до найближчого цілого:

$$F_1 = 1, F_2 = 1, F_3 = 3, F_4 = 3, F_5 = 4.$$

Отже, виконавши усі зазначені кроки дослідження, ми встановили, що доцільно проводити огляд усіх ниткошвейних машин раз на 20 тижнів, що коштуватиме 2000 грн.

Зіставимо статистичний та імітаційний підходи. Застосовуючи алгоритми обох вищезазначених методів до проблеми поліграфічного підприємства ТОВ «Юнівест Маркетинг», отримаємо:

- Імітаційний підхід: огляд і ремонт усіх ниткошвейних машин 1 раз на 20 тижнів, середня вартість 2000 грн.
- Статистичний підхід: огляд і ремонт усіх ниткошвейних машин 1 раз на 20 тижнів, середня вартість 2500 грн.

Початкова інформація подана в клітинках, що зафарбовані													
№ машини	Ймовірність поломки	Час поломки	Ймовірність поломок за 5 періодів (по 10 тижнів)					Ітерація	Результати 10 ітерацій				
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	0,11	1,57	0	1	0	0	0	1	1	2	2	2	2
2	0,88	4,76	0	0	0	0	1	2	1	2	1	3	3
3	0,31	2,77	0	0	1	0	0	3	0	2	1	6	0
4	0,78	4,46	0	0	0	0	1	4	0	3	0	2	5
5	0,92	4,89	0	0	0	0	1	5	1	1	3	2	3
6	0,43	3,25	0	0	0	1	0	6	1	1	5	1	2
7	0,73	4,32	0	0	0	0	1	7	1	0	3	3	3
8	0,05	0,99	1	0	0	0	0	8	1	1	4	2	2
9	0,33	2,82	0	0	1	0	0	9	1	1	1	0	7
10	0,39	3,09	0	0	0	1	0	10	0	1	2	2	5
Загальна кількість поломок			1	1	2	2	4	Сума	7	14	22	23	32
								Середнє	0,7	1,4	2,2	2,3	3,2
								Ціле	1	2	3	3	4
			Вартість огляду однієї машини, Сі =		1000								
			Вартість огляду груп машин, Сg =		2000								
			Мінімальна вартість огляду раз на 10 тижнів =		2500								
			Найкраще рішення щодо огляду машин кожні		2 місяці								
					Вартість заміни однієї деталі чи групи деталей кожного місяця								
Місяць	Ціле, Fi	Вартість Fi	1	2	3	4	5						
1	1	1000	1000	1000	1000	1000	1000						
2	2	2000		2000	2000	2000	2000						
3	3	3000			3000	3000	3000						
4	3	3000				3000	3000						
5	4	4000					4000						
			Вартість огляду групи машин, Сg =		2000	2000	2000	2000	2000				
			Загальна вартість =		3000	5000	8000	11000	15000				
			Середня вартість огляду машин за 10 тижнів =		3000	2500	2666,667	2750	3000				

Рис. 4. Імітаційна модель заміни ниткошвейних машин

*Розроблено з використанням функції СЛЧИС() MS Excel

Висновки та перспективи подальших розвідок

Вирішення задачі заміни устаткування в умовах високого рівня конкуренції на ринку товаровиробників, дефіциту ресурсів для самофінансування технічного оновлення, нестабільності зовнішнього і внутрішнього середовищ потребує застосування релевантних моделей прогнозування, зокрема імітаційного моделювання. Імітаційний підхід, в основу якого покладено визначення оптимальних проміжків часу між заміною устаткування (компонентів) та мінімізацію середніх витрат, сприяє підвищенню ефективності управління основними засобами підприємства. Математична модель, запропонована у цьому дослідженні, дозволяє розв'язати задачу заміни устаткування в стаціонарному режимі роботи. Темою подальших досліджень має бути розгляд цієї задачі у динаміці. Розв'язання цієї задачі як задачі динамічного програмування дозволяє виробити оптимальну стратегію дій, у той час, як статичні задачі дозволяють отримати розв'язок, оптимальний з точки зору умов, що склалися, тобто тактичний.

Список літератури

- Осипа, Н. В. Щодо визначення строків корисного використання гірничого устаткування [Текст] / Н. В. Осипа // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2014. – №1. – С. 103-106.
- Матусевич, О. О. Математична модель ризик-аналізу технічного стану силового обладнання тягових підстанцій / О. О. Матусевич, Д. В. Міронов // Гірничі електромеханіка та автоматика. – 2014. – №93. – С. 41-47.
- Малаксіано, М. О. Про планування оптимальних строків ремонтів та замін складного портового обладнання за умов частково визначеного прогнозу рівня зайнятості [Електронний ресурс] / М. О. Малаксіано // Економічна кібернетика. – 2012. – №4-6. – С. 49-56. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eccib_2012_4-6_9.
- Колос, О. Л. Математична модель функціонування системи технічного обслуговування та ремонту машин інженерного озброєння в умовах їх інтенсивного застосування [Текст] / О. Л. Колос // Збірник наукових праць Національної академії державної прикордонної служби України. Серія: Військові та технічні науки. – 2013. – №2(60). – С. 306-316.
- Адамовська, О. С. Оцінка термінів заміни моделей машин і обладнання [Текст] / О. С. Адамовська // Бізнес Інформ. – 2012. – №1. – С. 75-78.
- Шаров, Р. Ю. Стохастическая задача о восстановлении и замене оборудования [Электронный ресурс] / Р. Ю. Шаров // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2012. – №35. – С. 168-170. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/stokhasticheskaya-zadacha-o-vosstanovlenii-i-zamene-oborudovaniya>.

-
7. Кривенко, Н. В. Аналіз методів прогнозування для визначення майбутнього стану технічних параметрів суднового обладнання [Електронний ресурс] / Н. В. Кривенко // Технологія приборостроєння. – 2013. – №1. – С. 8-10. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Тр_2013_1_4.
 8. Сахаров, В. В. Алгоритм принятия оптимальных решений в судоремонте с применением матрицы Крылова [Электронный ресурс] / В. В. Сахаров, А. А. Кузьмин, А. А. Чертков // Вестник государственного университета морского и речного флота адмирала С. О. Макарова. – 2014. – Вып. 3. – С. 81-89. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/algorithm-prinyatiya-optimalnyh-resheniy-v-sudoremonte-s-primeneniyem-matritsy-krylova>.
 9. Fan, W. Equipment Replacement Optimization [Electronic resource] / W. Fan, L. Brown, C. Patterson, M. Winkler et al. – Tyler, 2011. – 148 p. – Access mode: URL: http://ctr.utexas.edu/wp-content/uploads/pubs/0_6412_1.pdf.
 10. Ross, S. M. Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists [Text] / S. M. Ross. – 5th Edition. – London: Academic Press, 2014. – 686 p.
 11. Pachamanova, Dessislava A. Simulation and optimization in finance: modeling with MATLAB, @RISK, or VBA [Text] / Dessislava A. Pachamanova, Frank J. Fabozzi. – New Jersey: John Wiley&Sons, 2010. – 766 p.
 12. Ігнатова, Ю. В. Моделювання потенціалу малих інноваційних підприємств. Інвестиції практика та досвід [Текст] / Ю. В. Ігнатова, Н. В. Даценко, Є. А. Поліщук // Інвестиції: практика та досвід. – 2017. – №1. – С. 23-28.
 13. Шендерівська, Л. П. Розвиток підприємств видавничо-поліграфічної галузі [Текст] / Л. П. Шендерівська // Інтелект XXI. – 2014. – № 3. – С. 72-77.
 14. Шендеровская, Л. П. Критерии оценки эффективности инвестиций [Текст] / Л. П. Шендеровская // Інтелект XXI. – 2013. – № 5/6. – С. 75-89.

References

1. Osypa, N. V. (2014). To determine the useful life of mining equipment. *Visnyk Shkhidnoukrainskoho natsionalnoho universitetu imeni Volodymyra Dalia* [Herald of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University], 1, 103-106 [in Ukr].
2. Matushevych, O. O., Mironov, D. V. (2014). Mathematical model of risk analysis of technical condition of power equipment traction substations. *Hirnycha elektromekhanika ta avtomatyka* [Mining electrical engineering and automation], 93, 41-47 [in Ukr].
3. Malaksiano, M. O. (2012). On the design of optimal timing of repairs and replacements of equipment for the port complex conditions determined partly forecast employment. *Ekonomichna kibernetika* [Economic Cybernetics], 4-6, 49-56. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eccib_2012_4-6_9 [in Ukr].
4. Kolos, O. L. (2013). A mathematical model of functioning of the system of technical service and repair of machines of engineering armament in the conditions of their intensive application. *Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'noyi derzhavnoyi prykordonnoyi sluzhby Ukrainy*. Seriya: Viys'kovi ta tekhnichni nauky [Collection of scientific works of National Academy of State Border Guard of Ukraine. Series: Military and technical science], 2(60), 306-316 [in Ukr].
5. Adamov'ska, O. S. (2012). Estimation of replacement's terms of models of machines and equipment. *Biznes-Inform* [Business-Inform], 1, 75-78 [in Ukr].
6. Sharov, R. Yu. (2012). A stochastic problem of restoration and replacement of equipment. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta*. Seriya: Kompyuternyye tehnologi, upravlenie, radioelektronika [Bulletin of South Ural State University. Series: computer technology, management, electronics], 35, 168-170. Retrieved from: <https://cyberleninka.ru/article/n/stokhasticheskaya-zadacha-o-vozstanovlenii-i-zamene-oborudovaniya> [in Rus].
7. Kryvenko, N. V. (2013). Analysis methods for prediction of the future state of the technical parameters of vessel equipment. *Tehnologiya priborostroeniya* [Instrumentation Technology], 1, 8-10. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Тр_2013_1_4 [in Ukr].
8. Saharov, V. V., Kuzmin, A. A. & Chertkov, A. A. (2014). Algorithm of optimal decision making in ship repair with the use of the Krylov matrix. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota admirala S. O. Makarova* [Bulletin of the State University of Maritime and River Fleet named after Admiral S. O. Makarov], 3, 81-89. Retrieved from: <https://cyberleninka.ru/article/n/algorithm-prinyatiya-optimalnyh-resheniy-v-sudoremonte-s-primeneniyem-matritsy-krylova> [in Rus].
9. Fan, W., Brown, L., Patterson, C., Winkler, M. et al. (2011). Equipment Replacement Optimization. Tyler. Retrieved from: http://ctr.utexas.edu/wp-content/uploads/pubs/0_6412_1.pdf.
10. Sheldon, M. R. (2014). *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. London: Academic Press.
11. Pachamanova, D. A. & Fabozzi, F. J. (2010). *Simulation and optimization in finance: modeling with MATLAB, @RISK, or VBA*. New Jersey: John Wiley&Sons.

-
12. Ignatova, Iu. V., Datsenko, N. V. & Polishchuk, Ye. A. (2017). Modeling the potential of small innovative enterprises. *Investytsii: praktyka ta dosvid*, 1, 23-28 [in Ukr].
 13. Shenderivs'ka, L. P. (2014). Rozvytok pidpryyemstv vydavnycho-polihrafichnoyi haluzi. *Intelekt XXI*, 3, 72–77. [in Ukr].
 14. Shenderivska L. P. (2013). Criteria for assessing an investments earning capacity. *Intelekt XXI*, 5/6, 75-89 [in Rus].

Стаття надійшла до редакції 27.01.2017 р.