

## ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ НА ЗАКУПІВЛЮ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ РЕМОНТУ ОБЛАДНАННЯ НА ЗАВОДІ «КПД» КОРПОРАЦІЇ «БІОСФЕРА»

*I. М. Пістунів, д. т. н., професор, НТУ «Дніпровська політехніка»,  
pistunovi@gmail.com*

У статті розглянуто проблему створення такої кількості запасних частин для виробничої лінії, що випускає товари широкого вжитку, щоб, з одного боку, їх кількість не була надмірною, а з іншої, їх вистачило б в разі виходу з ладу деталей працюючого обладнання. Проаналізовано можливість використання формули Вільсона та статистичного методу оптимізації запасів на складі для подібного випадку, але спростовано можливість їх використання. Натомість виявлено перспективний напрямок вирішення цієї задачі через статистичні дослідження частоти виходу з ладу окремих типів деталей.

Створена оптимізаційна модель запасів деталей виробничих ліній з випуску товарів широкого вжитку. Використання реальних даних з підприємства «КПД» корпорації «Біосфера» дозволило знайти ймовірність виходу з ладу протягом місяця для 29 типів деталей. Розроблено оптимізаційну модель, яка базується на теорії надійності та включає в себе вартість запчастини, ймовірність виходу з ладу, кількість основних та резервних запчастин. Для знаходження ймовірності безвідмовної роботи агрегату з резервом використано дискретну формулу з теорії надійності. Щоб забезпечити використання цієї формули в підпрограмі Solver електронного процесора Microsoft Excel, було розраховано значення ймовірності для наступного діапазону: кількості основних деталей  $n = [1, 29]$ , запасних деталей  $m = [1, 5]$ , ймовірність відмови роботи  $p = [0,07; 0,29]$ . Для зменшення числа розрахунків використано оптимальний план трифакторного експерименту, що дозволило отримані дані апроксимувати поліномом другого порядку. Оптимізаційний план запасів, який було розраховано за розробленою у статті моделлю, перевірявся на виробництві протягом четвертого кварталу 2018 року.

Ефективність запропонованого плану придбання запчастин дало в цілому економічний ефект у розмірі 26,2 тис. грн. Окреслені напрямки подальшої роботи, які полягають у доповненні розробленої у статті моделі параметрами витрат на заробітну платню, матеріали, електричну енергію, час на заміну деталей та проведення експертного опитування для визначення прийняттого рівня ймовірності безвідмовної роботи.

**Ключові слова:** оптимізація запасів, статистичні дослідження, ймовірність виходу з ладу, ймовірність безвідмовної роботи, планування експерименту, економічний ефект, випуск товарів широкого вжитку.

**Постановка проблеми.** Виробничі лінії, що випускають товари широкого вжитку, складаються зі значної кількості деталей, деякі з яких використовуються в декількох верстатах. Зупинка через вихід з ладу будь-якої запасної частини будь-якого з верстатів лінії означає припинення випуску продукції.

Припинення роботи виробничої лінії – це недоотримання доходу за реалізований товар. Тому приходится робити запаси деталей, щоби їх негайно замінити в разі виходу з ладу. Чим більші такі запаси, тим

гірше ситуація з оборотністю капіталу, а отже, і з прибутком. Тобто, запчастин на складі потрібно тримати якийсь необхідний мінімум, який би забезпечив з одного боку безвідмовну роботу виробничої лінії, а з іншого – зменшив витрати на закупівлю запчастин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В більшості випадків оптимізацію запасів роблять, використовуючи або модель Вільсона, або статистичну модель.

І якщо перша широко відома і у класичній формі має вигляд [1]

$$Q^* = \sqrt{\frac{2CR}{PF}} = \sqrt{\frac{2CR}{H}},$$

де  $Q^*$  – оптимальний розмір замовлення,  $C$  – витрати розміщення замовлення (не залежить від величини замовлення),  $R$  – щомісячний попит на продукт,  $P$  – витрати на покупку одиниці продукту,  $F$  – коефіцієнт витрат зберігання запасу; частка витрат на покупку продукту, що використовується як витрати зберігання (звичайно 10-15%, хоча при певних обставинах може встановлюватися на рівні від 0 до 1),  $H$  – витрати зберігання одиниці товару на місяць ( $H = PF$ ).

Метод статистичної оптимізації запасів товарів на складі не настільки популярний, бо вимагає статистичних досліджень. Сутність його полягає у наступному [2].

Визначимо змінні цього методу:  $\Theta$  – ринковий попит на продукт торгової фірми для фіксованого періоду (день, тиждень, місяць);  $a$  – запас продукту на деякий період;  $k_1$  – прибуток, що отримує фірма з продажу одиниці продукції;  $k_2$  – утрата прибутку на одиницю продукту, зумовлена відсутністю товару, попит на який перевищив замовлену кількість;  $F(\Theta)$  – функція апостеріорного спостереження розподілу попиту;  $f(a)$  – щільність в точці  $a$  апостеріорного розподілу попиту,  $F(a_0)$  – функція апостеріорного розподілу попиту  $\Theta$  на продукт.

Товар, який продається, оцінюється у штуках чи кілограмах, і замовляється у будь-якій кількості. Оптимальний запас товару на складі буде знайдено з формули

$$F(a_0) = k_1/(k_1 + k_2)$$

Для обчислення оптимального запасу  $a_0$  даного продукту на певний період часу треба: знати параметри  $k_1$  і  $k_2$ ; на основі статистичних спостережень отримати апостеріорний розподіл попиту на товар; за допомогою функції цього розподілу визначити квантиль порядку  $k_2/(k_1 + k_2)$ . Якщо, зокрема,  $k_1 = k_2$ , то оптимальний рівень запасу  $a_0$  буде відповідати рівності  $F(a_0) = 0,5$ . Іншими словами, оптимальний рівень запасу являє собою медіану в апостеріорному розподілі попиту. Якщо розподіл близький до норма-

льного  $N(M, \delta)$ , де  $M$  – математичне сподівання,  $\delta$  – середнє квадратичне відхилення, то значення  $a_0$  (або квантиль порядку  $k_2/(k_1 + k_2)$ ) можна визначити по таблиці нормованого нормального розподілу.

В роботі [3] було показано, що використання обох моделей для одного об'єкту дає різницю в декілька разів. Для прикладу, в табл. 1 наведено результати розрахунків оптимальних запасів на складі для трьох різних товарів.

Таблиця 1  
Результати розрахунку оптимального обсягу замовлення

Тип оптимізації	Тип товару		
	№1	№2	№3
Оптимальний обсяг замовлення, визначений статистичним методом, кг	936	1281	389
Оптимальний обсяг замовлення за Вільсоном, кг	316	361	271

Як видно з наведеного прикладу, різниця в обсязі замовлення у 2–3 рази, отже застосування цих моделей є проблематичним.

Тому сучасні дослідники використовують теорію надійності, яка дозволяє спрогнозувати термін безвідмовної роботи запчастин.

Так, в роботі [4] автори використовують підхід із визначенням усіх витрат на зберігання та установку запчастин для автомобілів, що ремонтуються в автосервісі. Причому, підхід базується на імітації діяльності підприємства з визначенням статистичних параметрів вхідних потоків, таких як термін ремонту, закон розподілу, середня інтенсивність надходжень, тощо. В якості функціоналу оптимізації використано прибуток, який залишається від усіх поточних витрат на заробітну платню, вартість деталей, вартість оренди площ, енергію, тощо.

Цей підхід цікавий тим, що критерій оптимізації є загально прийнятним для всіх економічних розрахунків, але метод оптимізації через імітаційне моделювання є достатньо складним і повністю непридатним для використання на виробництві.

В роботі [5] розглядається задача оптимізації запчастин для ремонту авіаційної

техніки. В ній загальна постановка задачі по забезпеченню запасними елементами може бути сформульована в такий спосіб: нехай відомо середнє число відмов  $m_{cp}$  та вартість відновлення  $c_i$  кожного  $i$ -го елемента, що працює у системі протягом часу  $t_i$  ( $t_i \leq t$ ). З огляду на те, що кількість запасних частин повинна бути не менше кількості відмов, визначення кількості запасних елементів одного типу зводиться до знаходження  $m_p$  з рівняння:

$$P(m_p) = e^{-\Lambda t} \sum_{i=0}^{m_p} \frac{(\Lambda t)^i}{i!} = e^{-m_{\text{н\ddot{o}}}} \sum_{i=0}^{m_p} \frac{(m_{\text{н\ddot{o}}})^i}{i!} .$$

Число запасних елементів можна також знайти за наближеною формулою

$$m_p = \Lambda t + U_r \sqrt{t\Lambda} .$$

Необхідно визначити кількісний склад ЗПІ для максимально можливої ймовірності безвідмовної роботи  $1-\alpha$  функціонування технічної системи протягом часу  $t$ . Кількість запасних елементів визначається з урахуванням обмеження

$$\sum_{i=1}^k c_i m_i \leq C ,$$

де  $m_i$  – число запасних елементів  $i$ -го типу,  $c_i$  – вартість одного елемента  $i$ -го типу,  $C$  – виділені кошти для закупівлі запасних елементів.

При цьому формулу для максимізації ймовірності безвідмовної роботи у випадку нормального закону можна представити у вигляді

$$\sum_{j=1}^k \left[ \frac{t}{T_j} + U_{1-\alpha} \sqrt{\frac{\sigma_j^2 t}{T_j^3}} \right] c_j \leq C ,$$

де  $T_j$  – середній наробіток на відмову  $j$ -го елемента,  $\sigma_j^2$  – дисперсія наробітку на відмову,  $t$  – сумарний наробіток,  $[ ]$  – ціла частина числа.

Як видно з викладеного вище, автори використали теорію надійності, але через високу вимогу до надійності авіаційної тех-

ніки, не знайшли оптимального запасу запчастин. Їх методика визначає найбільш необхідний обсяг запасів, що робить її мало придатною для використання в умовах виробництва товарів масового вжитку із застосуванням механізованих ліній.

**Формулювання мети статті.** Розробити зручну і просту методику визначення оптимального запасу запасних частин на складі в умовах виробництва товарів масового вжитку із застосуванням механізованих ліній. Для вирішення поставленої задачі застосувати критерій максимізації прибутку та теорію надійності.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Сформулюємо задачу оптимізації в загальному вигляді.

Нехай кількість типів деталей, що виходять з ладу становить  $D$ . Тоді ймовірність безвідмовної роботи виробничої лінії можна знайти як добуток безвідмовної роботи кожної з деталей при умові, що підприємство має їх достатній запас

$$P_L = \prod_{j=1}^D P(n_j, m_j, p_j) . \quad (1)$$

де  $P(n_j, m_j, p_j)$  знаходиться як залежність від  $n_j$  – кількості пристроїв та  $m_j$  – кількості запасних частин для цього пристрою ( $1 \leq j \leq D$ ).

Позначимо як  $REV$  доходи за місяць від безперебійної роботи виробничої лінії, а як  $PROF$  – відповідно, прибуток від безперебійної роботи лінії. Звідкіля, з урахуванням (1) можна записати, що загальний дохід від роботи лінії буде становити

$$REV_{TOTAL} = P_L REV - PROF(1 - P_L) . \quad (2)$$

Очевидно, що загальний прибуток має бути зменшений на вартість запасних частин, яку необхідно тримати на випадок виходу з ладу діючих деталей, помножену на ймовірність того, що  $n_j$  однакових деталей працюватимуть безперебійно протягом місяця:

$$CSP = \sum_{j=1}^D c_j m_j \left( 1 - \prod_{i=1}^{n_j} (1 - p_j) \right) , \quad (3)$$

де  $c_j$  – вартість  $j$ -ї запасної частини.

Об'єднавши (2) та (3) ми отримуємо симуму цільову функцію, що має прагнути до мак-

$$REV_{TOTAL} = P_L REV - PROF(1 - P_L) - \sum_{j=1}^D c_j m_j \left( 1 - \prod_{i=1}^{n_j} (1 - p_j) \right) \rightarrow \max \quad (4)$$

Обмеженням для цієї задачі буде вимога  $0 \leq m_j \leq L, (1 \leq j \leq D)$ ,  $L$  – кількість однотипних деталей, що знаходять використання у виробничій лінії.

Ці ж параметри будуть змінними факторами в оптимізаційній задачі, що робить її задачею математичного програмування, яка може бути вирішена будь-яким методом, реалізованим в цифровому процесорі Microsoft Excel.

Покажемо, як запропонована модель буда використана для виробничої лінії заводу «КПД» корпорації «Біосфера».

Почнемо зі знайдення величини  $P(n_j, m_j, p_j)$ . Для цього було використано положення з теорії надійності. Припустимо, що є  $n$  пристроїв, які повинні працювати одночасно протягом часу  $t$ . Імовірність того, що яке-небудь з них безвідмовно проробить цей термін, становить  $p$  (одна і та ж для всіх пристроїв, і пристрої відмовляють незалежно одне від іншого). Як зміниться ймовірність безвідмовної роботи системи, якщо в ній, крім  $n$  основних пристроїв, є ще  $m$  резервних, що знаходяться в навантаженому стані (тобто в тому ж режимі, в якому й основні). Відмовою як і раніше вважається перехід системи в такий стан, коли в ній кількість працездатних пристроїв виявляється меншим  $n$ . Шукана ймовірність є згідно [6]

$$P_n(m) = \sum_{i=0}^m C_{m+n}^{n+i} p^{m+i} (1-p)^{m-i}, \quad (5)$$

Така функція є не зручною для використання в оптимізаційній підпрограмі Solver цифрового процесора Microsoft Excel. Потрібна гладка функція, тому було використано метод планування експериментів [7]. Його сутність полягає у тому, що при проведенні активного експерименту потрібно брати тільки наперед визначенні значення вхідних факторів, що дозволяє отримати значення вихідного фактору описати поліномом другого порядку. В нашому випадку для трифакторного експерименту, було використано план, представлений в табл. 2, де подані як відносні так і абсолютні значення факторів.

Щоб знайти крайні точки плану експерименту було виділено 29 основних типів деталей, що найчастіше виходять з ладу. Для них розраховано ймовірність виходу з ладу протягом робочого місяця, поділивши кількість деталей одного типу, що вийшли з ладу, на їх загальну кількість на виробничій лінії.

У табл. 2 наведено фрагмент таблиці розрахунків кількості виходу з ладу протягом місяця для деяких деталей виробничих ліній.

Таблиця 2

Ймовірність виходу з ладу деталей виробничої лінії заводу «КПД» корпорації «Біосфера»

Деталь	Машина	Кількість деталей, що вийшли з ладу
Дисплей маркіратора Linx4900,FA71087	Лінія №2 Маркіратор Linx 4900	2
Кабель до блоку живлення FA 13401	Лінія №2 Маркіратор Linx 4900	1
Корпус для роз'єму (електроніка цех ВС)	Лінія №2 Маркіратор Linx 4900	2
Набір основний для обслуговування маркіратора 4200CE/48/6800,FA65027	Лінія №2 Маркіратор Linx 4900	1
Реле RSR-D24-D1-02-040-1(електроніка цех ВС)	Лінія №2 Маркіратор Linx 4900	1

Деталь	Машина	Кількість деталей, що вийшли з ладу
Конвертингова машина Lotus (Technoweb)	Лінія №2 Маркіратор Linx 4900	0
Technoweb Гайки спеціальні	Лінія №2 Маркіратор Linx 4900	1
Підшипник 626	Лінія № 1 Металодетектор	1
Редуктор SRT28 1:7 G3 AC14 Varvel	Лінія № 1 Металодетектор	1
Табличка 90*50мм	Лінія № 1 Металодетектор	1
Фланець FRT/RT40F Varvel	Лінія № 1 Металодетектор	1
Пила стрічкова 3160x20 мм Ultra	Лінія № 1 KNC-IM-800 Plus №131	1
Пила стрічкова INOX 3160x20x0,5	Лінія № 1 KNC-IM-800 Plus №131	1
Батарейка CR2032-C5	Лінія № 1 KNC-IM-800 Plus №131	1
Батарейка CR2032-PEN3	Лінія № 1 KNC-IM-800 Plus №131	5
Вал поворотний Кансан 800	Лінія № 1 KNC-IM-800 Plus №131	4

Отримана кількість таких деталей була розділена на загальну кількість однотипних деталей для визначення ймовірності виходу з ладу. Фрагмент розрахунків наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Розрахунок ймовірності виходу з ладу протягом місяця деталей перемоточної машини № 17 для виробництва пакетів з затяжками TER BETA ROLL 8490

Деталь	Ймовірність виходу з ладу протягом місяця
Струна попередньої пайки (коротка) Coemter	25%
Ніж для вирубки більшого отвору Coemter	21%
Стрічка транспортера 30 мм FNI-2 E	20%
Підшипник 6201	18%
Щітка Coemter (ПМ№17)	16%
Плівка 40x0,25 мм. Прозора	14%
ТЭН-250x16-1,0/220 -1000Вт	13%
Манжета 30x40x7 армована	11%
Підшипник 6004 ///	11%
Підшипник 6005 ///	11%
Підшипник 6006 (180106)	11%
Стрічка повітряної пайки Coemter	9%
Ніж для вирубки Л152	9%
Плівка 80x0,20 мм. Прозора	9%
Пневмоциліндр SC-MS-20X25-S	9%
Підшипник 6000 (180100)	9%
Підшипник 6002 ///	9%
Підшипник 6202	9%
Ланка для з'єднання 16B-1- CL	7%
Лампа 100 Вт галогенна	7%
Шестерня -20331 (Coemter)	7%

З наведених вище таблиць видно, що найбільша варіація складає для: кількості основних деталей  $n = [1, 29]$ , запасних деталей  $m = [1, 5]$ , ймовірність відмови роботи  $p = [0,07; 0,29]$ .

У табл. 4 подано план експерименту для визначення ймовірності  $P(n_j, m_j, p_j)$  за формулою (5).

Таблиця 4

Відносні та абсолютні значення факторів експерименту

Відносні значення			Абсолютні значення		
<i>n</i>	<i>m</i>	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>p</i>
-1	-1	-1	9	2	0,146
1	-1	-1	19	4	0,146
-1	1	1	9	2	0,146
1	1	-1	19	4	0,146
-1	-1	1	9	2	0,214
1	-1	1	19	4	0,214
-1	1	1	9	2	0,214
1	1	1	19	4	0,214
-1,44	0	0	1	3	0,18
1,44	0	0	29	3	0,18
0	-1,44	0	14	1	0,18
0	1,44	0	14	5	0,18
0	0	-1,44	14	3	0,07
0	0	1,44	14	3	0,29

Розрахунки за формулою (5) дали можливість отримати ймовірність безвідмовної роботи лінії, що складається з основних та запасних частин.

Застосувавши метод найменших квадратів, знаходилася залежність  $P(n, m, p)$  вигляду [8]

$$P(n, m, p) = a_0 + \sum_{i=1}^3 (a_i x_i + a_{i+3} x_i^2) + x_1(a_7 x_2 + a_8 x_3) + a_9 x_2 x_3 + a_{10} x_1 x_2 x_3, \quad (6)$$

де,  $x_1, x_2, x_3$  – відповідно  $n, m, p$ ;  $a_0 \dots a_{10}$  – коефіцієнти моделі.

Розрахунок коефіцієнти було проведено із застосування додатку Regression електронних таблиць Microsoft Excel і отримано наступну точну залежність з нульовою похибкою ( $R^2 = 1$ )

$$P(n, m, p) = 86,7681605124964 - 2,84833424436937n - 29,108090005352m - 263,661359237691p + 0,502980497238123nm - 11,8302415352799np + 3,18474557260924nmp + 0,0776912809148127n^2 + 2,28310029726217m^2 + 899,888428544503p^2 \quad (7)$$

Формула (7) використовувалася для знайдення за моделлю (4) оптимального запасу запчастин. Для розрахунків використовувався додаток Solver цифрового процесору Microsoft Excel. В якості оптимального алгоритму було прийнято метод зведеного градієнту, оскільки формула (7) є нелінійною.

У табл. 5 наведено частину розрахунку оптимального запасу запчастин. З таблиці видно, що деяких запчастин не вистачає (різниця має від'ємне значення), а деяких надто багато, аніж потрібно (різниця має додатне значення). Загалом оптимальна кількість деталей тільки для наведеного прикладу була 73 одиниці.

Таблиця 5

Порівняння оптимального розрахунку з наявністю деталей на складі для перемоточної машини № 17 для виробництва пакетів з затяжками TER BETA ROLL 8490

Деталь	Запас деталей	Оптимальна кількість запасу деталей	Різниця
Струна попередньої пайки (коротка) Coemter	5	9	-4
Ніж для вирубки більшого отвору Coemter	7	3	4
Стрічка транспортера 30 мм FNI-2 E	10	11	-1
Підшипник 6201	18	9	9
Щітка Coemter (ПМ№17)	4	5	-1

Деталь	Запас деталей	Оптимальна кількість запасу деталей	Різниця
Плівка 40x0,25 мм. Прозора	3	6	-3
ТЭН-250x16-1,0/220 -1000Вт	17	9	8
Манжета 30x40x7 армована	3	11	-8
Підшипник 6004 ///	19	5	14
Підшипник 6005 ///	15	5	10
Підшипник 6006 (180106)	13	11	2
Стрічка повітряної пайки Coemter	4	5	-1
Ніж для вирубки Л152	15	5	10
Плівка 80x0,20 мм. Прозора	4	6	-2
Пневмоциліндр SC-MS-20X25-S	3	5	-2
Підшипник 6000 (180100)	7	4	3
Підшипник 6002 ///	12	6	6
Підшипник 6202	6	2	4
Ланка для з'єднання 16B-1- CL	18	2	16
Лампа 100 Вт галогенна	13	9	4
Шестерня -20331 (Coemter)	13	8	5

Загалом 73

Згідно зі зробленим розрахунком протягом IV кварталу 2018 року робилися закупки запасних частин. Загальна економія склала 38,6 тис. грн. Але у зв'язку з тим, що через відсутність струни попередньої пайки Coemter лінія стояла 8 годин, недоотриманий прибуток склав 12,4 тис. грн. Отже загалом можна вважати, що ефективність запропонованого плану придбання запчастин дав економічний ефект у розмірі 26,2 тис. грн.

**Висновки.** Отримані результати дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. При визначенні оптимальної кількості запчастин для виробничих ліній формула Вільсона та статистичний метод не є прийнятними.

2. Теорія надійності дозволяє знайти ймовірність безвідмовної роботи агрегату, тому є прийнятною для розрахунку оптимальної кількості запчастин для виробничих.

3. Критерій оптимізації, побудований за принципом максимізації прибутку забезпечує достатній запас деталей, щоб виробнича лінія працювала майже без збоїв.

4. В перспективі розроблену модель потрібно доповнити більшим переліком запчастин та врахувати накладні витрати, які супроводжують виробничий процес.

#### Література

1. Wilson, R. H. (1934). «A Scientific Routine for Stock Control» *Harvard Business Review*, 13, 116–128.

2. Пістунов І. М. Визначення та управління фінансово-економічними ризиками [Електронний ресурс]: навч. посібн. / І. М. Пістунов, М. І. Пістунов; Нац. гірн. ун-т. – Електрон. текст. дані. – Д. : НГУ, 2015. – 180 с.

3. Pistunov I. M. Statistical and Wilson EOQ models conjunction for order quantity optimization / I. M. Pistunov, I. A. Bielkina, O. Yu. Churikanova // *Naukovyi Visnyk NHU* – № 2. – 2018. – P. 163–168.

4. Андрусенко С. І., Бугайчук О. С. До формування критерію оптимізації системи постачання запчастин в підприємствах автосервісу / [www.irbis-nbu.gov.ua%2Fcgi-bin%2Firis\\_nbu%2Fcgirbis\\_64.exe%3FC21COM%3D2%26I21DBN%3DUJRN%26P21DBN%3DUJRN%26IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD%3D1%26Image\\_file\\_name%3DPDF%2FVntu\\_2011\\_23\\_13.pdf&usg=AOvVaw1ZFtFWcLhpOgu42m09ebQ](http://www.irbis-nbu.gov.ua%2Fcgi-bin%2Firis_nbu%2Fcgirbis_64.exe%3FC21COM%3D2%26I21DBN%3DUJRN%26P21DBN%3DUJRN%26IMAGE_FILE_DOWNLOAD%3D1%26Image_file_name%3DPDF%2FVntu_2011_23_13.pdf&usg=AOvVaw1ZFtFWcLhpOgu42m09ebQ)

5. Мустафа А. С. Вдосконалення системи матеріально-технічного постачання процесу технічного обслуговування на основі аналізу надійності парку ПС авіакомпанії/ Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Національний авіаційний університет, Київ, 2008.

6. Пістунов І. М. Теорія ймовірності та математична статистика для економістів. З елементами електронних таблиць: Навчальний посібник / І. М. Пістунов, Н. В. Лобова – Дніпропетровськ : РВК НГУ, 2005. – 110 с.

7. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента / Ю. П. Адлер. – М. : Металлургия, 1968. – 155 с/

8. Pistunov I. M. The optimal plan for the purchase of spare parts for production lines // Materials of the XV International scientific and practical Conference «Science and civilization» – 2019 , 30 January - 07 February, 2019 Economic science: Sheffield. Science and education LTD -112 p. – PP. 24–27.

### References

1. Wilson, R. H. (1934). A Scientific Routine for Stock Control. Harvard Business Review, 13, 116–128.

2. Pistunov, I.M., & Pistunov, M.I. (2015). Vyznachennia ta upravlinnia finansovo-ekonomichnyh ryzykamy. Dnipropetrovsk: NHU.

3. Pistunov, I. M., Bielkina, I. A., & Churikanova, O. Y. (2018). Integration of statistical model for optimum inventory and Wilson EOQ model. Naukovyi

Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, (2), 163–168. doi:10.29202/nvngu/2018-2/18

4. Andrusenko, S.I., & Buhaychuk O.S. (n.d.). Do formuvannia kryteriyu optymizatsii systeoy postachannia zapchastyn v pidpriemstvakh avtoservisu. Retrieved from [www.irbis-nbuv.gov.ua%2Fcgi-bin%2Ffirbis\\_nbuv%2Fcgiirbis\\_64.exe%3FC21COM%3D2%26I21DBN%3DUJRN%26P21DBN%3DUJRN%26IM-AGE\\_FILE\\_DOWNLOAD%3D1%26Image\\_file\\_name%3DPDF%2FVntu\\_2011\\_23\\_13.pdf&usg=AOvVaw1ZFItFWcLhpOgu42m09ebQ](http://www.irbis-nbuv.gov.ua%2Fcgi-bin%2Ffirbis_nbuv%2Fcgiirbis_64.exe%3FC21COM%3D2%26I21DBN%3DUJRN%26P21DBN%3DUJRN%26IM-AGE_FILE_DOWNLOAD%3D1%26Image_file_name%3DPDF%2FVntu_2011_23_13.pdf&usg=AOvVaw1ZFItFWcLhpOgu42m09ebQ)

5. Mustafa, A. S. (2008). Vdoskonalennia systemy materialno-tekhnichnoho postachannia protsesu tekhnichnoho obsluhovuvannia na osnovi analizu nadiynosti parku PS aviakompanii. Candidate's thesis. Kyiv: Natsionalnyy aviatsiynyy universytet.

6. Pistunov, I. M., & Loboda N. V. (2005). Teoriya ymovirnosti ta matematychna statystyka dlia ekonomistiv. Z elementamy elektronnykh tablyts. Dnipropetrovsk: NHU.

7. Adler, Yu. P. (1968). Vvedenie v planirovanie eksperimenta. Moskva: Metallurgiya.

8. Pistunov, I. M. (2019). The optimal plan for the purchase of spare parts for production lines. Materials of the XV International scientific and practical Conference «Science and civilization». Economic science, 24–27). Sheffield: Science and education LTD.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДОВ НА ЗАКУПКУ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ НА ЗАВОДЕ «КПД» КОРПОРАЦИИ «БИОСФЕРА»

*И. Н. Пистунов, д. т. н., профессор, НТУ «Днепровская политехника»*

В статье рассмотрена проблема создания такого количества запасных частей для производственной линии, выпускающей товары широкого потребления, чтобы, с одной стороны, их количество не было чрезмерным, а с другой, их хватило бы в случае выхода из строя деталей, установленных в действующем оборудовании. Проанализирована возможность использования формулы Вильсона и статистического метода оптимизации запасов на складе для подобного случая, однако опровергнута возможность их использования. Однако, обнаружено перспективное направление решения этой задачи через статистические исследования частоты выхода из строя отдельных типов деталей.

Создана оптимизационная модель запасов деталей производственных линий по выпуску товаров широкого потребления. Использование реальных данных с предприятия «КПД» корпорации «Биосфера» позволило найти вероятность выхода из строя в течение месяца для 29 типов деталей. Разработана оптимизационная модель, основанная на теории надежности, которая включает в себя стоимость запчастей, вероятность выхода из строя, количество основных и резервных запчастей. Для нахождения вероятности безотказной работы агрегата с резервом использовано дискретную формулу из теории надежности. Чтобы обеспечить использование этой формулы в подпрограмме Solver электронного процессора Microsoft Excel, было рассчитано значение вероятности для следующего диапазона: количества основных деталей  $n = [1, 29]$ , запасных частей  $m = [1, 5]$ , вероятность отказа работы  $p = [0, 07; 0,29]$ . Для уменьшения числа расчетов использован оптимальный план трифакторного эксперимента, что позволило полученные данные аппроксимировать полиномом второго порядка. Оптимальный план запасов, который был рассчитан по разработанной в статье модели, проверялся на производстве в течение четвертого квартала 2018 года.

Эффективность предложенного плана приобретения запчастей дало в целом экономический эффект в размере 26,2 тыс. грн. Обозначенные направления дальнейшей работы, ко-



торые заключаются в дополнение разработанной в статье модели затратами на заработную плату, материалы, электроэнергию, время на замену деталей и проведения экспертного опроса для определения приемлемого уровня вероятности безотказной работы.

**Ключевые слова:** оптимизация запасов, статистические исследования, вероятность выхода из строя, вероятность безотказной работы, планирования эксперимента, экономический эффект, выпуск товаров широкого потребления.

OPTIMIZATION OF COSTS FOR THE PURCHASE OF DETAILS FOR THE REPAIR OF EQUIPMENT AT «PLC» PLANT OF BIOSPHERE CORPORATION

*I. M. Pistunov, Dr. Sc. (Tech.), Professor, Dnipro University of Technology*

The article deals with the problem of creating such a number of spare parts for the production line producing consumer goods, so that on the one hand their number would not be excessive, and on the other hand, they would be enough in case of failure of parts in the working equipment. In this case, we analyzed the possibility of using Wilson's formula and the statistical method of stock optimization refuted them. Instead, we identified a promising direction for solving this problem through statistical studies of the frequency of failure of certain types of parts.

We created an optimization model of stocks of parts of production lines for the production of consumer goods. The use of real data from the «PLC» enterprise (Biosphere Corp.) has made it possible to find the probability of failure of 29 types of parts within the month. We have developed an optimization model based on reliability theory that includes the cost of the spare part, the probability of failure, the number of major and spare parts. To find the probability of failure-free operation of the reserve unit, we used a discrete formula for reliability theory. To ensure the use of this formula in the Solver subroutine of the Microsoft Excel electronic processor, the probability values for the following range were calculated: the number of basic parts  $n = [1, 29]$ , the spare parts  $m = [1, 5]$ , the failure probability  $p = [0, 07; 0,29]$ . An optimal plan for a three-factor experiment was used to reduce the number of calculations, which allowed the obtained data to be approximated by a second-order polynomial. The optimal inventory plan, which was calculated from the developed model, was tested for production during Q4 2018.

The effectiveness of the proposed plan for the purchase of spare parts resulted in an overall economic effect of UAH 26.2 thousand. The outlined directions of further work include enhancing the developed model with the parameters of wages, materials, electricity, time for replacement of details and conducting of expert survey to determine the acceptable level of failure-free operation.

**Keywords:** inventory optimization, statistical studies, probability of failure, probability of uptime, experiment planning, economic effect, consumer goods.

*Надійшла до редакції 18.03.19 р.*