

DOI: 10.31319/2519-8106.2(49)2023.293123  
УДК 656.13.07(02)

**Коробочка О.М.**, доктор технічних наук, професор  
**Korobochka Oleksandr**, doctor of technical sciences, professor

**Чернишов О.В.**, старший викладач, кафедра машинобудівних технологій та інженерії  
**Chernyshov Oleksandr**, senior lecturer, Department of Machine-building Technologies and Engineering  
ORCID: 0000-0001-5457-258X  
e-mail: avch2006@ukr.net

**Трикіло А.І.**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електроніки та електронних комунікацій  
**Trykilo Alik**, Ph.D. technical Associate Professor of Sciences, Department of Electronics and Electronic Communications  
ORCID: 0000-0002-5203-5948  
e-mail: Trukilo@i.ua

**Бурінчик О.О.**, магістр, кафедра автомобілів та транспортно-логістичних систем  
**Burinchyk Oleksandr**, master's degree student, Department of Automobiles and Transport and Logistics Systems  
e-mail: sliskomslozno66@gmail.com

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське  
Dnipro State Technical University, Kamianske

## МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДСЬКИХ ЗАПАСІВ НА СТАНЦІЯХ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ

### SIMULATION OF WAREHOUSE STOCKS AT STATIONS CAR MAINTENANCE

*Представлена математична модель прогнозування потреби автосервісного підприємства у запасних частинах для їх закупівлі. Запропонована методика дозволяє визначити потреби підприємства автосервісу в запасних частинах, вдосконалити систему матеріально-технічного забезпечення.*

*Ключові слова:* математична модель, підприємства автосервісу, запасні частини, матеріально-технічне забезпечення.

*Automotive service companies can increase the efficiency of their work by implementing a system for forecasting the costs of spare parts. This will significantly reduce losses from long-term downtime of unused spare parts in the warehouse and from excessive spending of money on the constant supply of necessary spare parts when they are not available in the warehouse, significantly reduce the time for calculating the need for spare parts and reduce errors in calculations to a minimum.*

*For auto service companies, the task of commodity stocks forecasting consists in analyzing the dynamics of the trade turnover, determining the optimal size of commodity stocks, forecasting the trade turnover and commodity stocks costs.*

*In order to solve the issues of providing the enterprise with spare parts, it is necessary to develop an effective method of forecasting the costs of spare parts by car service enterprises.*

*Many scientists have dealt with the problem of increasing the efficiency of car service systems by forecasting the purchase of spare parts. The attention of these scientists is mainly directed to the issue of the need to forecast the need of a car service enterprise in spare parts for their purchase.*

*The purpose of the work is to develop a methodology for forecasting the costs of spare parts at car service enterprises.*

*In order to make an unambiguous conclusion about which model to use during forecasting, a model of the costs of the lower layer supports (according to recommendations, they must be changed every season) was built, using a multivariate regression forecasting model. Correlation-regression analysis and the Statistika10 application program were used to build the model. Factors affecting the need for spare parts are considered.*

*A mathematical model for forecasting the need of a car service enterprise in spare parts for their purchase is presented. The method proposed makes it possible to determine the needs of the car service company in spare parts, to improve the system of material and technical support.*

**Keywords:** *mathematical model, car service enterprises, spare parts, material and technical support.*

### Постановка проблеми

Ефективність роботи системи автосервісних підприємств можна поліпшити, впровадивши систему прогнозування витрат запасних частин. Це дозволить скоротити збитки від тривалого простою невикористаних запасних частин на складі і від надмірної витрати грошових коштів на постійне постачання необхідними запчастинами, коли їх немає в наявності на складі, значно скоротити час на розрахунки потреби в запчастинах і зведе помилки в розрахунках до мінімуму.

Для підприємств автосервісу завдання прогнозування товарних запасів полягають в аналізі динаміки товарообігу, визначення оптимальних розмірів товарних запасів, прогнозування товарообігу і витрат запасів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для вирішення питань забезпечення підприємства запасними частинами необхідно розробити ефективну методику прогнозування витрат запасних частин підприємствами автосервісу.

Проблемою підвищення ефективності систем автосервісу за рахунок прогнозування закупівлі запасних частин займалися такі вчені, як Крамаренко Г.В., Кривенко О.І., Маркін О.Д., Єгорова О.С., Мудунов О.С., Кірсанов Є.О., Толкачов В.К., Миротін Л.Б., Щетина В.А., Пронштейн М.Я., Таржибаєв О.О., Кривенко О.І., Волгін В.В. та ін. [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Увага цих науковців, головним чином, спрямована на питання необхідності прогнозування потреби автосервісного підприємства у запасних частинах для їх закупівлі.

### Формулювання мети дослідження

Метою роботи є розробка методики прогнозування витрат запасних частин на підприємствах автосервісу.

### Виклад основного матеріалу

Щоб зробити однозначний висновок у тому, яку модель використовувати під час прогнозування, побудуємо модель витрати нижніх шарових опор (по рекомендаціям їх необхідно міняти кожен сезон, що б не було більш серйозних проблем), використовуючи багатофакторну регресійну модель прогнозування [7, 8].

Для побудови моделі використовуємо кореляційно-регресійний аналіз та прикладну програму Statistika10 [9]. Розглянемо виділені чинники, які впливають на потребу у запасних частинах. Перелік зазначених факторів наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Чинники, що впливають на потребу запасних частин

Номер факторів	Фактори	Одиниця вимірювань
1	Фактична витрата запасних частин в попередньому році	шт.
2	Середній пробіг автомобілем, який обслуговується	тис. км
3	Сезонність експлуатації (середньорічна температура)	$C^0$
4	Середній вік автомобіля	роки
5	Виробництво (продаж) нових автомобілей	шт.
6	Число заїздів автомобілем на станцію	шт.
7	Залишок деталей на складі	шт.

Табл. 1 складена на підставі виконаного ранжирування факторів, а також наявності інформації про зміну вищезгаданих факторів.

На підприємствах автосервісу в м. Кам'янського є інформація про 7 факторів, зазначених фахівцями підприємств під час проведення анкетного опитування. Число факторів для кожного конкретного підприємства може бути різним залежно від специфіки підприємства та умов його функціонування. Витрата запасних частин у разі є результативною ознакою, оскільки його прогнозне значення є потребою у запасних частинах.

У випадку рівняння регресії для прогнозування потреби у запасних частинах виглядає так:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n,$$

де змінні  $X_1 \dots X_n$  є факторними ознаками.

Результати спостережень протягом 2020 року роботи підприємства наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Результати спостережень протягом 2020 року роботи на підприємствах автосервісу

Місяць	Витрата запчастин	Пробіг	Кількість заїздів на СТО	Середній вік автомобіля	Сезонність експлуатації	Залишок на складі	Продаж нових автомобілів
1	18	58	86	4	-12	33	114
2	23	66	104	4,5	-9	42	109
3	16	51	81	5	4	35	126
4	15	50	93	4,5	4	52	140
5	20	61	96	5	13	40	155
6	13	49	85	5	16	52	142
7	11	50	96	4	17	38	114
8	12	42	84	3,5	16	36	134
9	22	61	92	5	10	46	162
10	29	69	102	5	5	63	190
11	25	60	96	4,5	-2	39	175
12	23	64	103	5	-9	61	156

На першому етапі роботи, в побудовану таблицю вводиться число результативних ознак (у разі 7) і кількість спостережень ( $N = 12$ ). Вихідні дані витрати запасних частин щодо кореляційного аналізу табл. 3.

Таблиця 3. Вихідні дані витрати запасних частин

	N	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>
1	1	18	58	86	4	-12	33	114
2	2	23	66	104	4,5	-9	42	109
3	3	16	51	81	5	4	35	126
4	4	15	50	93	4,5	4	52	140
5	5	20	61	96	5	13	40	155
6	6	13	49	85	5	16	52	142
7	7	11	50	96	4	17	38	114
8	8	12	42	84	3,5	16	36	134
9	9	22	61	92	5	10	46	162
10	10	29	69	102	5	5	63	190
11	11	25	60	96	4,5	-2	39	175
12	12	23	64	103	5	-9	61	156

Y — витрата запасних частин, шт.;  
 X<sub>1</sub> — середній пробіг автомобіля, тис. км;  
 X<sub>2</sub> — кількість заїздів на СТО;  
 X<sub>3</sub> — середній вік автомобілів, рік;  
 X<sub>4</sub> — сезонність експлуатації (середньорічна температура), С°;  
 X<sub>5</sub> — залишок на складі, шт.;  
 X<sub>6</sub> — продаж нових автомобілів, шт.

Основні статистичні характеристики, отримані в програмі Statistika 10 наведені в табл. 4, [9].

Проведено аналіз даних на кореляційну залежність, коефіцієнти парної кореляції приведені в табл. 5.

Таблиця 4. Основні статистичні характеристики

Основна статистика					
Змінна	N	Minimum	Mean	Maximum	Std.Dev.
Y	12	11	18,92	29	5,92
X <sub>1</sub>	12	42	56,33	69	8,08
X <sub>2</sub>	12	81	93,25	105	8,18
X <sub>3</sub>	12	3,5	4,67	6	0,75
X <sub>4</sub>	12	-10	4,58	18	10,11
X <sub>5</sub>	12	32	44,67	64	10,49
X <sub>6</sub>	12	110	146,00	194	28,37

Таблиця 5. Коефіцієнти парної кореляції

Парна кореляція							
Відмічені кореляції значимі при $p < 0,05000$ .							
N=12 (видалення відсутніх даних по реєстру)							
	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Y	1,00	0,92	0,71	0,62	-0,56	0,41	0,66
X <sub>1</sub>	0,92	1,00	0,82	0,66	-0,57	0,48	0,52
X <sub>2</sub>	0,71	0,82	1,00	0,37	-0,33	0,51	0,39
X <sub>3</sub>	0,62	0,66	0,37	1,00	-0,11	0,62	0,64
X <sub>4</sub>	-0,56	-0,57	-0,33	-0,11	1,00	-0,11	0,01
X <sub>5</sub>	0,41	0,48	0,51	0,62	-0,11	1,00	0,58
X <sub>6</sub>	0,66	0,52	0,39	0,64	0,01	0,58	1,00
X <sub>7</sub>	-0,17	-0,33	-0,50	0,01	-0,02	-0,47	-0,07

Аналізуючи парні кореляції бачимо, що він залежить від середнього пробігу автомобіля, кількості заїздів на СТО, середнього віку автомобіля та продажу нових автомобілів, тобто коефіцієнти значимі при  $p < 0,05$ .

Використовуючи програму Statistika 10 визначаємо регресійне лінійне рівняння від значимих факторів X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> та X<sub>6</sub>.

В табл. 6 приведені коефіцієнти лінійної регресії.

Таблиця 6. Коефіцієнти лінійної моделі

Коефіцієнти лінійної моделі: $Y = b_0 + b_1 \times X_1 + b_2 \times X_2 + b_3 \times X_3 + b_6 \times X_6$						
	Оцінка	Стандартна похибка	t-значення df = 7	p-значення	Діапазон розкиду	
b <sub>0</sub>	-13,18	8,95	-1,47	0,18	-34,34	7,97
b <sub>1</sub>	0,77	0,19	4,14	0,00	0,33	1,22
b <sub>2</sub>	-0,15	0,15	-0,97	0,36	-0,50	0,21
b <sub>3</sub>	-1,63	1,41	-1,16	0,28	-4,96	1,70
b <sub>6</sub>	0,07	0,03	2,22	0,06	-0,00	0,14

Рівняння регресії для змінних зі значимими коефіцієнтами регресії для прогнозування потреби в запасних частинах має вид:

$$Y_1 = -13,18 + 0,77 \times X_1 - 0,15 \times X_2 - 1,63 \times X_3 + 0,07 \times X_6, \quad (1)$$

де Y — витрата запасних частин, шт.; X<sub>1</sub> — середній пробіг автомобіля, тис. км; X<sub>2</sub> — кількість заїздів на СТО, шт.; X<sub>3</sub> — середній вік автомобілів, років; X<sub>6</sub> — продаж нових автомобілів, шт. Доля урахованої дисперсії: 0,91644581. Коефіцієнт множинної регресії R = 0,95731176.

Значення Y<sub>1</sub> вираховані по рівнянню (1), відхилення від вихідних даних, та відносна похибка наведена в табл. 7.

Оскільки в рівнянні (1) значимим коефіцієнтом виявився коефіцієнт при факторі X<sub>1</sub>, тому була отримана лінійна модель від одного фактору X<sub>1</sub>, в якому коефіцієнти B<sub>0</sub> та B<sub>1</sub> виявились обидва значимі і наведені в табл. 8.

Таблиця 7. Відносна похибка

Модель: $Y=b_0+b_1*X_1+b_2*X_2+b_3*X_3+b_6*X_6$				
	Дослідні	Прогнозовані	Залишок	%
1	17	18,10	-1,10	6,48
2	24	21,75	2,25	9,36
3	16	15,34	0,66	4,12
4	14	14,14	-0,14	0,97
5	21	20,24	0,76	3,64
6	12	12,87	-0,87	7,23
7	11	13,43	-2,43	22,12
8	13	10,57	2,43	18,67
9	21	23,47	-2,47	11,78
10	29	28,48	0,52	1,78
11	26	24,09	1,91	7,33
12	23	24,51	-1,51	6,57
			Ср.	8,34
			SD	6,44

Таблиця 8. Коефіцієнти лінійної моделі

Коефіцієнти лінійної моделі: $Y_1 = b_0 + b_1 * X_1$						
	Оцінка	Стандартна похибка	t-значення df = 7	p-значення		Діапазон розбросу
$b_0$	-19,1266	5,07	-3,77	0,00	-30,43	-7,83
$b_1$	0,6753	0,09	7,57	0,00	0,48	0,87

Рівняння регресії для змінних зі значимими коефіцієнтами регресії для прогнозування потреби в запасних частинах має вид:

$$Y_1 = -19,1266 + 0,6753 \times X_1, \quad (2)$$

де  $Y_1$  — витрата запасних частин, шт.;  $X_1$  — середній пробіг автомобіля, тис. км.

Доля урахованої дисперсії: 0,85. Коефіцієнт множинної регресії  $R = 0,92$ . Діаграма розсіювання та довірчий інтервал (0,95) рівняння (2) наведено на рис. 1.

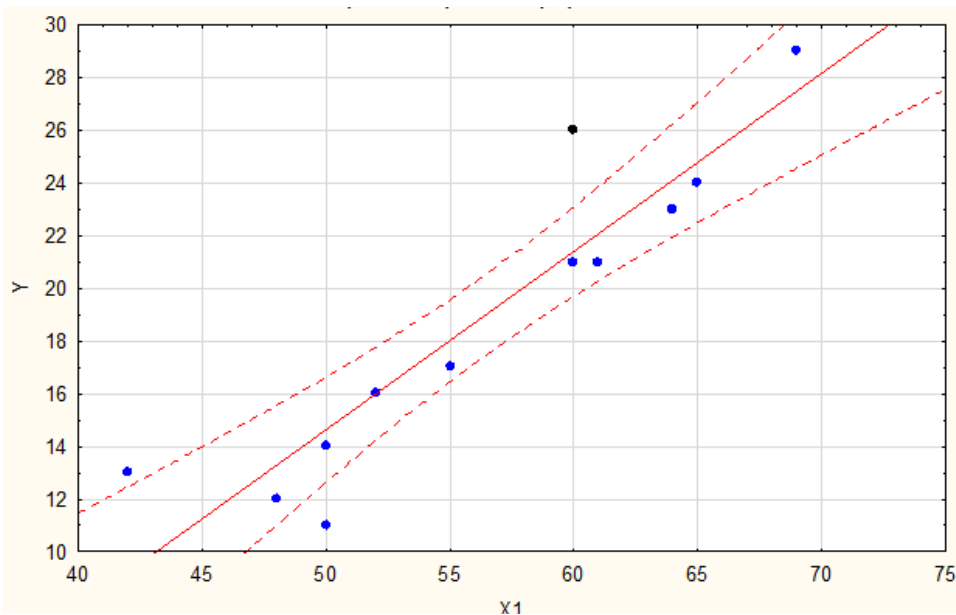


Рис. 1. Діаграма розсіювання та довірчий інтервал (0,95) лінійного рівняння (2)

Із діаграми видно, що з 12 точок даних 3 не попадають в поле довірчого інтервалу, тому перевіряємо похибку лінійного рівняння, яка в середньому дорівнює більше 10 %, що видно з табл. 9.

Таблиця 9. Похибка лінійного рівняння

Модель: $Y_1 = b_0 + b_1 \times X_1$				
	Дослідні	Прогнозовані	Залишки	%
1	17	18,02	-1,02	5,98
2	24	24,77	-0,77	3,21
3	16	15,99	0,01	0,06
4	14	14,64	-0,64	4,57
5	21	21,39	-0,39	1,87
6	12	13,29	-1,29	10,74
7	11	14,64	-3,64	33,09
8	13	9,24	3,76	28,95
9	21	22,07	-1,07	5,09
10	29	27,47	1,53	5,27
11	26	21,39	4,61	17,72
12	23	24,09	-1,09	4,76
			Ср.	10,11
			SD	10,80

Оскільки похибка велика, розглянемо модель експоненціальної залежності. Рівняння експоненти для прогнозування потреби в запасних частинах має вид:

$$Y_{12} = 2,254 \times \text{EXP}(0.03705 \times X_1), \quad (3)$$

де  $Y_{12}$  — витрата запасних частин, шт.;  $X_1$  — середній пробіг автомобіля, тис. км.

Коефіцієнти експоненціальної моделі представлено в табл. 10. Значення  $Y_{12}$  вираховані по рівнянню (3), відхилення від вихідних даних, та відносна похибка наведена в табл. 11. Діаграма розсіювання та графік експоненціальної моделі, рівняння (3) наведено на рис. 2.

Таблиця 10. Коефіцієнти експоненціальної моделі

Коефіцієнти експоненціальної моделі: $Y_{12} = b_0 + \text{EXP}(b_1 \times X_1)$						
	Оцінка	Стандартна похибка	t-значення df = 7	p-значення	Діапазон розбросу	
$b_0$	2,253868	0,644807	3,495415	0,005771	0,817149	3,690587
$b_1$	0,037049	0,004707	7,870735	0,000014	0,026560	0,047537

Таблиця 11. Відносна похибка

Модель: $Y_{12} = 2,254 \times \text{EXP}(0.03057 \times X_1)$				
	Дослідні	Прогнозовані	Залишки	%
1	17	17,29	-0,29	1,72
2	24	25,05	-1,05	4,37
3	16	15,47	0,53	3,29
4	14	14,37	-0,37	2,64
5	21	20,81	0,19	0,89
6	12	13,34	-1,34	11,19
7	11	14,37	-3,37	30,63
8	13	10,68	2,32	17,82
9	21	21,60	-0,60	2,85
10	29	29,05	-0,05	0,17
11	26	20,81	5,19	19,95

Продовження таблиці 11.

12	23	24,14	-1,14	4,94
			Ср.	8,37
			SD	9,59

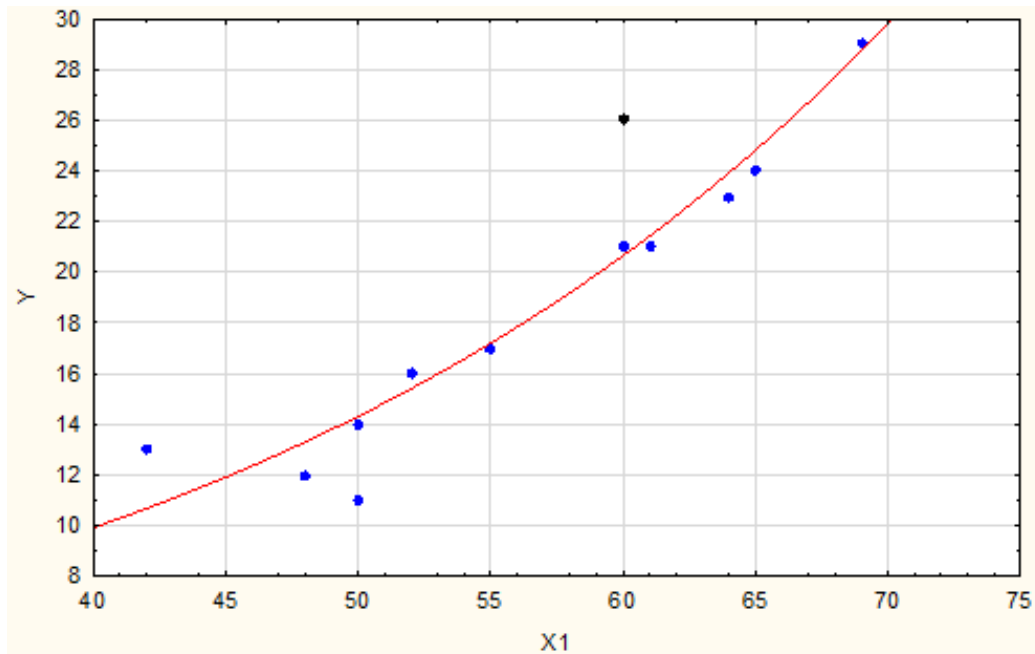


Рис. 2. Діаграма розсіювання та графік експоненціальної моделі, рівняння (3)

Оскільки аналіз парних кореляцій значимих факторів показав, що кількість витрат запасних частин логічно залежить тільки від  $X_1$  та  $X_3$ . Опишемо рівнянням другого порядку для цих двох факторів.

Таким чином рівнянням другого порядку для цих двох факторів  $X_1$  та  $X_3$  має вид:

$$Y_2 = 19,9314 - 1,8131 \times x_1 + 13,3581 \times x_3 + 0,0036 \times x_1 \times x_1 + 0,4449 \times x_1 \times x_3 - 4,098 \times x_3 \times x_3, \quad (4)$$

де  $Y_2$  — витрата запасних частин, шт.;  $X_1$  — середній пробіг автомобіля, тис. км;  $X_3$  — середній вік автомобілів, рік.

Доля урахованої дисперсії: 0,90. Коефіцієнт множинної регресії  $R = 0,95$ .

Графік поверхні для рівняння (4) наведено на рис. 3.

Як видно з графіка із збільшенням віку автомобіля та зі збільшенням його пробігу витрата запасних частин значно збільшується. Відносна похибка складає 6,85 відсотків.

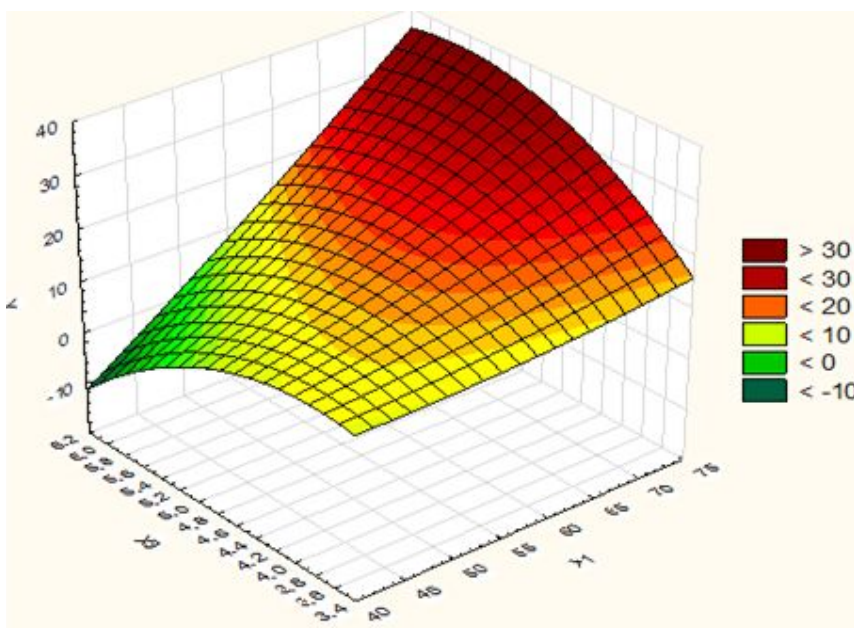


Рис. 3. Графік поверхні рівняння (4)



### Висновки

Вирішена науково-практична задача, яка полягає в розробці методики прогнозування витрати запасних частин на автосервісних підприємствах. Запропонована методика дозволяє визначити потреби підприємств в запасних частинах, вдосконалити систему матеріально-технічного забезпечення.

### Список використаних джерел

1. Прогнозування потреби в запасних частинах, [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://budtehnika.pp.ua/6001-prognozuvannya-potrebi-v-zapasnih-chastinah.html>
2. Обґрунтування потреби в запасних частинах для сто. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://budtehnika.pp.ua/5993-obgruntuvannya-potrebi-v-zapasnih-chastinah-dlya-sto.html>
3. Вітровий А. О. Напрямки розвитку автосервісу в Україні. *Економічні, правові, інформаційні та гуманітарні проблеми розвитку* зб. тез. доп. наук. конф. професорсько-викладацького складу Тернопіль ТНЕУ 2009. С. 26–28.
4. Марков О. Д. Організація автосервісу. Львів: Оріяна-Нова, 2008. 332 с.
5. Кіналь П. Механізми підвищення технічного рівня підприємств автосервісу *Розвиток аграрного бізнесу в умовах глобалізації*: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. за участю іноземних студентів м. Тернопіль 15-17 квітня 2016р. Тернопіль, ТНЕУ, 2016, С. 92–93.
6. Acs E.J., Andritsch D.B. Innovation in Large and Small Firms. *American Economics Review*, 1989. V. 78. N 9.
7. Карташов М.В. Теорія ймовірностей і математична статистика: підручник. Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2009. 479 с.
8. Faul F., Erdfelder E., Buchner A., Lang A. G. Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 2009. – Vol. 41. P. 1149–1160.
9. Програмний комплекс статистичного аналізу, Statistica 10. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://soft.mydiv.net/win/download-STATISTICA.html>

### References

- [1] Prohnozuvannya potreby v zapasnykh chastynakh, [Forecasting the need for spare parts]. – Retrieved from <https://budtehnika.pp.ua/6001-prognozuvannya-potrebi-v-zapasnih-chastinah.html> [in Ukrainian].
- [2] Obhruntuvannya potreby v zapasnykh chastynakh dlia sto. [Justification of the need for spare parts for the hundred]. – Retrieved from <https://budtehnika.pp.ua/5993-obgruntuvannya-potrebi-v-zapasnih-chastinah-dlya-sto.html> [in Ukrainian].
- [3] Vitrovyi A. O. (2009) Napriamky rozvytku avtoservisv v Ukraini. [Directions of car service development in Ukraine]. Tezy dopovidi naukovoï konferentsii profesorsko-vykladatskoho skladu . *«Ekonomiczni, pravovi, informatsiini ta humanitarni problemy rozvytku»* - Theses of the report of the scientific conference of the teaching staff *«Economic, legal, information and humanitarian problems of development»* (pp. 26-28). Ternopil TNEU [in Ukrainian].
- [4] Markov O. D. (2008). *Orhanizatsiia avtoservisv. [Car service organization]*. Lviv: Oriiana-Nova [in Ukrainian].
- [5] Kinal P. (2016). Mekhanizmy pidvyshchennia tekhnichnoho rivnia pidpriemstv avtoservisv. [Kinal P. Mechanisms of increasing the technical level of car service enterprises]. *Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Rozvytok ahrarnoho biznesu v umovakh hlobalizatsii»* - International scientific and practical conference *«Development of agrarian business in the conditions of globalization»*. (pp. 92-93). Ternopil: TNEU [in Ukrainian].
- [6] Acs E.J., Andritsch D.B. (1989). Innovation in Large and Small Firms. *American Economics Review*. V. 78. N 9.
- [7] Kartashov M.V. (2009). Teoriiia ymovirnostei i matematychna statystyka [*Probability Theory and Mathematical Statistics*]. Kyiv: Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr «Kyivskiyi universytet» [in Ukrainian].



- [8] Faul F., Erdfelder E., Buchner A., Lang A. (2009). G. Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. Behavior Research Methods Vol. 41. P. 1149-1160
- [9] Prohramnyi kompleks statystychnoho analizu, Statistica 10. [Statistical analysis software package, Statistica 10]. Retrieved from <https://soft.mydiv.net/win/download-STATISTICA.html>

*Надійшла до редакції 30.10.2023*