

УДК 656.13

**И. Ф. Воронина, канд. техн. наук, Ф. М. Судак, канд. техн. наук,  
А. С. Чернецкий, А. И. Матин**

**Автомобильно-дорожный институт  
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка**

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСХОДОВ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА АВТОСЕРВИСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА**

*Рассматриваются актуальные вопросы разработки эффективной методики прогнозирования расходов запасных частей на автосервисных предприятиях с использованием корреляционно-регрессионного анализа, исходя из постоянно меняющихся условий рынка и поиска новых подходов к организации материально-технического обеспечения.*

***Ключевые слова:** автосервисное предприятие, прогнозирование расхода запасных частей, корреляционно-регрессионный анализ*

### ***Введение***

Постоянный рост парка автомобилей предъявляет повышенные требования к функционированию и развитию такой отраслевой группы бытовых услуг, как услуги по ремонту и техническому обслуживанию автотранспортных средств [1].

Необходимым условием существования качественного сервиса является эффективная организация его материально-технического обеспечения.

В данный момент актуальной является проблема прогнозирования потребности в запасных частях на предприятиях автосервиса, решение которой позволит повысить эффективность управления запасами на этих предприятиях за счет снижения простоев автомобилей в ожидании ремонта [2].

### ***Анализ публикаций***

Проблемой повышения эффективности систем автосервиса за счет прогнозирования закупки запасных частей занимались такие ученые, как Е. И. Кривенко, Г. В. Крамаренко, О. Д. Маркин, О. С. Егорова, М. Я. Пронштейн, О. С. Мудунов, Е. А. Кирсанов, В. К. Толкачев, Л. Б. Миротин, В. А. Щетина, А. А. Таржибаев, В. В. Волгин, И. И. Кривенко и др. [3].

Вышеперечисленные ученые в основном решали проблему потребности автосервисных предприятий в запасных частях для закупок последних.

Однако нерешенной до сих пор остается проблема изучения процесса расхода запасных частей.

**Целью** исследования является разработка методики прогнозирования расходов запасных частей предприятиями автосервиса.

### ***Методика и результаты исследования***

Эффективность работы системы автосервиса можно повысить, внедрив систему прогнозирования расходов запасных частей, которая позволит сократить убытки от продолжительного простоя неиспользованных запасных частей на складе и от чрезмерной траты средств на частое снабжение необходимыми запчастями, которые отсутствуют на складе.

Чтобы сделать однозначный вывод о том, какую модель использовать при прогнозировании, построим модель расхода рулевых тяг, используя многофакторную регрессионную модель [4, 5].

Для построения модели используем корреляционно-регрессионный анализ и прикладную программу Regre 2.81.

При построении модели рассмотрим факторы, которые оказывают влияние на потребность в запасных частях. Перечень указанных факторов приведен в таблице 1, которая составлена на основании выполненного ранжирования факторов, а также наличия информации об изменении вышеперечисленных факторов [6].

Таблица 1 – Факторы, которые влияют на потребность запасных частей

№ п/п	Факторы	Единица измерения
1	Фактический расход запасных частей в предыдущем году	шт.
2	Средний пробег обслуживаемых автомобилей	тыс. км
3	Сезонность эксплуатации (среднегодовая температура)	°С
4	Средний возраст обслуживаемых автомобилей	год
5	Число заездов автомобилей на станцию	раз
6	Остаток деталей на складе	шт.
7	Количество выходных и праздничных дней	дн.

На автосервисном предприятии «Алеко-Сервис» есть информация о 8 факторах, отмеченных специалистами предприятия при проведении анкетирования. Количество факторов для каждого конкретного предприятия может быть различным в зависимости от специфики предприятия и внешней среды его функционирования. Расход запасных частей в этом случае является результивным признаком, потому что его прогнозным значением является потребность в запасных частях [7].

В общем случае уравнение регрессии для прогнозирования потребности в запасных частях выглядит следующим образом:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + \dots + a_nX_n, \quad (1)$$

где переменные  $X_1 \dots X_n$  являются факторными признаками.

Результаты наблюдений за работой предприятия на протяжении 2018 года приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты наблюдений за работой предприятия «Алеко-Сервис» на протяжении 2018 года

Месяц	Расход запасных частей	Средний пробег автомобиля	Количество заездов на СТО	Средний возраст автомобиля	Сезонность эксплуатации	Остаток на складе	Количество выходных и праздничных дней
1	17	55	85	4	-10	32	11
2	24	65	105	4,5	-9	43	8
3	16	52	81	5	4	35	11
4	14	50	92	4,5	4	52	10
5	21	60	98	5,5	12	40	12
6	12	48	85	5	16	51	10
7	11	50	96	3,5	18	38	8
8	13	42	82	3	16	36	10
9	21	61	95	5	10	45	8
10	29	69	102	6	4	64	8
11	26	60	97	4,5	-2	38	11
12	23	64	101	5,8	-8	62	9

На первом этапе работы в построенную таблицу вводится число результативных признаков (в нашем случае 6) и число наблюдений ( $N = 12$ ). Исходные данные расхода запасных частей для проведения корреляционного анализа (рисунок 1):

Y – расход запасных частей, ед.;

X1 – фактический расход запасных частей в предыдущем году, шт.;

X2 – средний пробег автомобиля, тыс. км;

X3 – количество заездов на СТО, раз;

X4 – средний возраст автомобилей, год;

X5 – сезонность эксплуатации (среднегодовая температура), °С;

X6 – остаток на складе, шт.;

X7 – количество выходных и праздничных дней, дн.

Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6
17	55	85	4	-10	32	11
24	65	105	4,5	-9	43	8
16	52	81	5	4	35	11
14	50	92	4,5	4	52	10
21	60	98	5,5	12	40	12
12	48	85	5	16	51	10
11	50	96	3,5	18	38	8
13	42	82	3	16	36	10
21	61	95	5	10	45	8
29	69	102	6	4	64	8
26	60	97	4,5	-2	38	11
23	64	101	5,8	-8	62	9

  

Признак	Описание признака	ед. изм.
X4	Сезонность эксплуатации	С
X5	Остаток на складе	шт
X6	Количество выходных и праздничных дней	дн

Фактор: 7/7      Наблюдение: 1/12

Рисунок 1 – Исходные данные для проведения корреляционного анализа с помощью программы корреляционного анализа Regre 2.81

Чтобы построить многофакторную регрессионную модель результативного признака, который характеризует расход запасных частей, предварительно необходимо отобрать факторные признаки в модель. С этой целью находим матрицу парных коэффициентов корреляции (рисунок 2).

В первой строке этой матрицы записаны коэффициенты  $R_{yx}$ , которые характеризуют тесноту взаимосвязи результативного признака с каждым факторным признаком.

Все коэффициенты корреляции выше заданного уровня значимости (равного 0,05), кроме  $R_{yx4} = -0,556\ 84$ ,  $R_{yx5} = 0,406\ 75$ ,  $R_{yx6} = -0,174\ 86$ .

Факторы  $R_{yx4} = -0,556\ 84$ ,  $R_{yx5} = 0,406\ 75$ ,  $R_{yx6} = -0,174\ 86$  слабо влияют на результативный признак, поэтому их в регрессионную модель вводить не будем. Другие коэффициенты корреляции характеризуют тесноту взаимосвязи между каждой парой факторных признаков. Среди них есть коэффициенты  $|R_{xixj}| \geq 0,8$  такие, как  $R_{y1x2} = 0,819$ . Следовательно, имеется одна пара мультиколлинеарных факторных признаков.

Из каждой пары таких признаков отбираем в регрессионную модель по одному.

Для этого сравниваем следующие коэффициенты:  $R_{yx2} = 0,712\ 41$  и  $R_{yx1} = 0,922\ 77 \rightarrow |R_{yx2}| < |R_{yx1}|$ . Коэффициент  $R_{yx1}$  больше  $R_{yx2}$ , поэтому в модель вводим признак X1, а X2 исключаем.

ИНФОРМАЦИЯ О ПЕРЕМЕННЫХ		
Обозначение признака	Признак	Единица измерения
Y	Расход запасных частей	шт.
X <sub>1</sub>	Пробег	км
X <sub>2</sub>	Количество заездов на СТО	раз
X <sub>3</sub>	Средний возраст автомобиля	лет
X <sub>4</sub>	Сезонность эксплуатации	С
X <sub>5</sub>	Остаток на складе	шт
X <sub>6</sub>	Количество выходных и праздничных дней	дн.

  

ПАРНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ КОРРЕЛЯЦИИ							
Чтобы построить многофакторную регрессионную модель результативного признака Расход запасных частей, предварительно необходимо отобрать факторные признаки в модель. С этой целью находим матрицу парных коэффициентов корреляции:							
	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>
Y	1	0,92277	0,71241	0,6271	-0,55684	0,40675	-0,17486
X <sub>1</sub>	0,92277	1	0,81935	0,72051	-0,5687	0,48172	-0,32646
X <sub>2</sub>	0,71241	0,81935	1	0,45882	-0,32937	0,50629	-0,50316
X <sub>3</sub>	0,6271	0,72051	0,45882	1	-0,25141	0,69343	-0,037872
X <sub>4</sub>	-0,55684	-0,5687	-0,32937	-0,25141	1	-0,10768	-0,022962
X <sub>5</sub>	0,40675	0,48172	0,50629	0,69343	-0,10768	1	-0,47287
X <sub>6</sub>	-0,17486	-0,32646	-0,50316	-0,037872	-0,022962	-0,47287	1

Рисунок 2 – Матрица парных коэффициентов корреляции

В регрессионную модель вводим факторы Y, X<sub>1</sub>, X<sub>3</sub>. Далее снова представляем матрицу значений признаков Y, X<sub>1</sub>, X<sub>3</sub> и проводим дальнейшие расчеты. Результаты расчетов, выполненные программой, представлены на рисунке 3.

Признак	Описание признака	ед. изм.
Y	Расход запасных частей	шт.
X1	Пробег	км
X2	Средний возраст автомобиля	лет

Рисунок 3 – Анализ тесноты взаимосвязей результативного и факторных признаков

Проанализируем полученные результаты. Сначала рассмотрим выборочный множественный коэффициент корреляции  $R_b = 0,92438$ .

Прежде чем сделать вывод о тесноте взаимосвязи между результативным признаком и совокупностью факторных признаков, проверим значимость выборочного множественного коэффициента корреляции при уровне значимости 0,05. Для этого выдвигаем гипотезы:

$$H_0: R_{\text{ген}} = 0, H_1: R_{\text{ген}} \neq 0.$$

Находим:  $T_{\text{набл}} = 7,2693$ ;  
 $t_{\text{крит.дв.}}(0,05; 9) = 2,26$ .

Поскольку  $T_{\text{набл}} > t_{\text{крит.дв.}}(0,05; 9)$ , нулевую гипотезу отбрасываем, справедлива конкурирующая гипотеза  $H_1: R_{\text{ген}} \neq 0$ . Таким образом,  $R_B = 0,92438$  значим, связь между результативным признаком и совокупностью факторных признаков, включенных в регрессионную модель, тесная.

Найдем коэффициент детерминации:

$D = (R_B^2) \cdot 100\% = (0,92438)^2 \cdot 100\% = 85,4478\%$ , следовательно, вариация результативного признака «расход запасных частей» в среднем на 85,4478% объясняется за счет вариации факторных признаков, включенных в модель («Пробег», «Средний возраст автомобиля»).

Дальше анализируется множественная регрессионная модель, которая имеет вид:

$$Y = -19,02 \cdot X_1 - 0,521 \cdot X_2. \quad (2)$$

Проверяем значимость этой модели при уровне значимости 0,05. Выдвигаем гипотезы:  $H_0$ : регрессионная модель незначима ( $H_0: A_1 = A_2 = \dots A_p = 0$ ),  $H_1$ : регрессионная модель значима ( $H_1$ : хотя бы один  $A_i \neq 0$ , и меняется от 1 до p).

Проверяем нулевую гипотезу с помощью случайной величины F, имеющей распределение Фишера – Снедекора.

Находим  $F_{\text{набл}} = 26,421$ ;  $F_{\text{крит}}(0,05; 2; 9) = 4,26$ .

Поскольку,  $F_{\text{набл}} > F_{\text{крит}}(0,05; 2; 9)$ , нулевую гипотезу отвергаем, справедлива конкурирующая гипотеза, то есть многофакторная регрессионная модель значимая.

Экономический смысл коэффициентов регрессии состоит в следующем: в таблице показано насколько меняется результирующий признак при увеличении соответствующего факторного признака на 1 (рисунок 4).

В таблице показано на сколько изменяется результирующий признак при увеличении соответствующего факторного признака на 1:	
<b>Факторный признак</b>	<b>Изменение результирующего признака</b>
Пробег	0,7167
Средний возраст автомобиля	-0,521
<b>КОЭФФИЦИЕНТЫ ЭЛАСТИЧНОСТИ.</b>	
В таблице показано на сколько процентов изменяется результативный признак при увеличении соответствующего факторного признака на 1 процент:	
<b>Факторный признак</b>	<b>Изменение результирующего признака (в %)</b>
Пробег	2,13
Средний возраст автомобиля	-0,129

Рисунок 4 – Изменение результирующего признака

Сравнивая коэффициенты эластичности по абсолютной величине, можно отметить, что результативный признак «Расход запасных частей» более всего чувствителен к изменению факторного признака «Пробег».

Составим уравнение регрессии в стандартизованном масштабе и рассчитаем его коэффициенты  $b_i$ :

$$Y = 23,9 \cdot X_1 - 1,46 \cdot X_2. \quad (3)$$

В целом получаем следующую таблицу по степени влияния (рисунок 5).

Ранг влияния	Признак
1	Пробег
2	Средний возраст автомобиля

**ТАБЛИЦА ОСТАТКОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЗАВИСИМОЙ ПЕРЕМЕННОЙ**

ЗАДАННОЕ ЗНАЧЕНИЕ	ВЫЧИСЛЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ	ОСТАТОК	% ОТКЛОНЕНИЯ
17	18,3	-1,32	-7,21
24	25,2	-1,23	-4,87
16	15,7	0,35	2,24
14	14,5	-0,477	-3,3
21	21,1	-0,124	-0,585
12	12,8	-0,783	-6,13
11	15	-4	-26,7
13	9,52	3,48	36,5
21	22,1	-1,1	-4,98
29	27,3	1,69	6,17
26	21,6	4,36	20,1
23	23,8	-0,834	-3,5

Рисунок 5 – Таблицы степени влияния и остатков вычисления зависимой переменной

Проверим полученную модель на адекватность. Адекватность – основное требование, предъявляемое к модели прогнозирования, определяющее возможность ее использования. Поскольку в регрессионной модели учитывается сезонная компонента, а ее величина  $\varepsilon < 1\%$ , выполним оценку адекватности этой модели прогнозирования потребности в рулевых тягах (45 503–05 020), построенной на основе модели регрессионного анализа.

Если модели прогнозирования правильно отображают систематические компоненты временного ряда, их можно признать адекватными. Это требование эквивалентно требованию, согласно которому остаточный компонент  $\varepsilon_t$  удовлетворяет свойствам случайного компонента временного ряда. Для проверки данного требования используем таблицу 3.

Таблица 3 – Фактические и расчетные значения расходов рулевых тяг (45 503–05 020) в 2018 г. методом корреляционного анализа

Фактический расход рулевых тяг	17	24	16	14	21	12	11	13	21	29	26	23
Расчетное значение расхода рулевых тяг	18,3	25,2	15,7	14,5	21,1	12,8	15	9,52	22,1	27,3	21,6	23,8
Отклонение ( $\varepsilon$ )	-1,32	-1,23	0,36	-0,477	-0,124	-0,783	-4	3,48	-1,1	1,69	4,36	-0,834
Точки пиков	–	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	–

Проверку случайности уровней ряда остатков проведем на основе критерия пиков (поворотных точек). Уровень последовательности  $\varepsilon_t$  является максимумом, если он больше двух уровней, которые стоят рядом, то есть  $\varepsilon_{t-1} < \varepsilon_t > \varepsilon_{t+1}$ , или минимумом, если он меньше обоих соседних уровней, то есть  $\varepsilon_{t-1} > \varepsilon_t < \varepsilon_{t+1}$ . В обоих случаях  $\varepsilon_t$  считается поворотной точкой. Общее количество поворотных точек обозначим через  $p$ . Критерием случайности с доверительной вероятностью 95 % является выполнение неравенства:

$$p > \left[ \bar{p} - 1,96\sqrt{\sigma_p^2} \right], \quad (4)$$

где  $\bar{p}$  – математическое ожидание числа точек поворота;

$\sigma_p^2$  – дисперсия числа точек поворота.

$$\bar{p} = \frac{2}{3}(n-2); \quad \sigma_p^2 = \frac{16n-29}{90}. \quad (5)$$

Квадратные скобки в неравенстве (4) означают целую часть числа. Если неравенство выполняется, модель прогнозирования является адекватной.

Количество точек пиков равно семи ( $p = 7$ ),  $\bar{p} = 6,67$ ,  $\sigma_p^2 = 1,81$  (5). Неравенство  $7 < \left[ 6,67 - 1,96\sqrt{1,84} \right]$ ,  $7 < 4,01$  выполняется. Модель регрессионного анализа прогнозирования потребности в рулевых тягах является адекватной.

### **Выводы**

Разработанная методика прогнозирования потребности предприятий автосервиса в запасных частях с использованием корреляционно-регрессионного анализа позволяет формализовать процессы определения потребности предприятий в запасных частях на перспективу.

Методика учитывает влияние действующих факторов (таблица 1) и базируется на использовании современного математического аппарата и стандартных пакетов прикладных программ, одна из которых – программа корреляционно-регрессионного анализа Regre 2.81.

### **Список литературы**

1. Крамаренко, Г. В. Техническое обслуживание автомобилей / Г. В. Крамаренко, И. В. Барашков. – Москва : Транспорт, 1982. – 368 с.
2. Марков, О. Д. Автосервис: Рынок, автомобиль, клиент / О. Д. Марков. – Москва : Транспорт, 1999. – 270 с.
3. Воронина, И. Ф. Совершенствование методики прогнозирования потребности в запасных частях автомобилей на предприятиях автосервиса / И. Ф. Воронина, Ф. М. Судак, Д. С. Подгорный // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute. – 2016. – № 2. – С. 16–22.
4. Ивченко, Г. И. Математическая статистика / Г. И. Ивченко, Ю. И. Медведев. – Москва : ЛИБРОКОМ, 2014. – 352 с. – ISBN 978-5-397-04141-6.
5. Экономико-математические методы и прикладные модели ; под редакцией В. В. Федосеева. – Москва : ЮНИТИ, 2002. – 391 с.
6. Судак, Ф. М. Усовершенствование методики расчета необходимого количества запасных частей на предприятиях автомобильного транспорта / Ф. М. Судак, И. Ф. Воронина, А. И. Заика // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute. – 2018. – № 3(26). – С. 44–48.
7. Воронина, И. Ф. Разработка системы мониторинга материально-технического обеспечения предприятий автосервиса / И. Ф. Воронина, Ф. М. Судак, А. В. Злей // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute. – 2018. – № 4 (27). – С. 46–52.

***И. Ф. Воронина, Ф. М. Судак, А. С. Чернецкий, А. И. Матин***

***Автомобильно-дорожный институт***

***ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка***

**Прогнозирование расходов запасных частей на автосервисных предприятиях с использованием корреляционно-регрессионного анализа**

Постоянный рост парка автомобилей предъявляет повышенные требования к функционированию и развитию такой отраслевой группы бытовых услуг, как услуги по ремонту и техническому обслуживанию транспортных средств.

Необходимым условием существования качественного сервиса является эффективная организация его материально-технического обеспечения.

В данный момент актуальной является проблема прогнозирования потребности в запасных частях на предприятиях автосервиса, решение которой позволит повысить эффективность управления запасами на этих предприятиях за счет снижения простоев автомобилей в ожидании ремонта.

Эффективность работы системы автосервиса можно повысить, внедрив систему прогнозирования расходов запасных частей, которая позволит сократить убытки от продолжительного простоя неиспользованных запасных частей на складе и от чрезмерной траты средств на частое снабжение необходимыми запчастями, которые отсутствуют на складе.

Для выбора модели прогнозирования был использован математический аппарат корреляционно-регрессионного анализа.

При построении модели были рассмотрены факторы, которые оказывали влияние на потребность в запасных частях.

**АВТОСЕРВИСНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСХОДА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ, КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ**

***I. F. Voronina, F. M. Sudak, A. S. Chernetskii, A. I. Matin***  
***Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka***  
**Prediction of Spare Parts Consumption at Service Centers Using Correlation and Regression Analysis**

The constant growth of the car stock imposes increased requirements on the functioning and development of such group of personal services as repair and maintenance of motor vehicles.

The necessary condition of the qualitative service is an effective organization of its logistic support.

Now the actual problem is the prediction of the need in spare parts at service centers. Its solution will allow to enhance inventory control efficiency at these enterprises by reducing automobile downtime during awaiting-repair time.

The operating efficiency of the service centers system can be increased by introducing the prediction system of spare parts consumption, which will allow to reduce losses from the major delay of spare parts at the storehouse and from excess expenses on frequent supply of necessary parts which are out of stock.

To choose prediction model the mathematical apparatus of correlation and regression analysis has been used.

When building the model factors affected on the need in spare parts have been considered.

**SERVICE CENTER, PREDICTION OF SPARE PARTS CONSUMPTION, CORRELATION AND REGRESSION ANALYSIS**

**Сведения об авторах:**

**И. Ф. Воронина**

Телефон: +38 (06242) 55-29-60  
 +38 (06242) 55-29-82  
 +38 (06242) 55-20-26  
 Эл. почта: voronina.adi@mail.ru

**Ф. М. Судак**

Телефон: +38 (06242) 55-29-60  
 +38 (06242) 55-29-82  
 +38 (06242) 55-20-26  
 Эл. почта: voronina.adi@mail.ru

**А. С. Чернецкий**

Телефон: +38 (06242) 55-29-60  
 +38 (06242) 55-29-82  
 +38 (06242) 55-20-26  
 Эл. почта: voronina.adi@mail.ru

**А. И. Матин**

Телефон: +38 (06242) 55-29-60  
 +38 (06242) 55-29-82  
 +38 (06242) 55-20-26  
 Эл. почта: voronina.adi@mail.ru

*Статья поступила 09.04.2019*

© И. Ф. Воронина, Ф. М. Судак, А. С. Чернецкий, А. И. Матин, 2019

Рецензент: В. В. Быков, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»