

Н. М. Капустин

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКАЗОВ И НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИСТЕМ, УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ АВТОМОБИЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Степень влияния отказов и неисправностей основных систем, узлов и агрегатов на общее число случаев ремонта и трудозатраты на техническое обслуживание (ТО) и текущий ремонт (ТР) можно определить с помощью регрессионного анализа случаев ремонта основных систем и механизмов автомобилей. Для проведения регрессионного анализа отказов и неисправностей были исследованы результаты работы различных автотранспортных предприятий (АТП) Белорусской ССР. В данной статье приведен анализ работы группы грузовых АТП, в состав которой вошли следующие предприятия: а/к № 2418, а/к № 2314, а/б № 1 г. Гомеля, а/б № 1 г. Витебска и а/б № 3 г. Бреста. Включенные в эту группу автотранспортные предприятия имеют примерно однотипный подвижной состав, где средняя грузоподъемность автомобилей составляет 4,5—6 т. Наблюдения проводились в течение полутора лет.

Значения числа случаев ремонта различных систем, узлов и механизмов автомобилей определялись путем обработки данных формы № 3, предусмотренной Положением о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава. Трудозатраты на техническое обслуживание и текущий ремонт автомобилей были взяты из отчетных данных работы автотранспортных предприятий.

К первичной информации предъявлялись такие требования, как достоверность, однозначность выражения, т. е. количественность, достаточность по количеству и однородность. Так как проведение регрессионного анализа возможно даже в случае некоторого отличия случайной величины от нормального распределения, то проверка на нормальность исходной информации не производилась.

С помощью регрессионного анализа отказов и неисправностей ставится задача установить, как в среднем изменяется случайная величина с изменением одной или нескольких неслучайных величин, т. е. найти связь между изменением числа случаев ремонта основных систем и механизмов автомобиля и трудоемкостью ра-

бот по ТО и ТР автомобилей. Иначе говоря, необходимо найти функцию

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (1)$$

и раскрыть степень влияния аргументов на функцию.

В качестве аргументов искомого уравнения регрессии принято число случаев ремонта по следующим системам и механизмам автомобиля: двигатель (x_1), система электрооборудования (x_2), система питания (x_3), система охлаждения (x_4), коробка передач (x_5), подвеска (x_6), передний мост (x_7), рулевое управление (x_8), задний мост (x_9), тормозная система (x_{10}), кузов (x_{11}), сцепление (x_{12}).

Для предварительного изучения исходной информации проводился парный регрессионный анализ. При парном регрессионном анализе теоретическая линия регрессии наиболее часто выражается уравнением

$$y = a + bx. \quad (2)$$

Проверка гипотезы о наличии связи между изучаемыми факторами и оценка тесноты этой связи осуществляется с помощью коэффициента корреляции r_{yx} . Достоверность полученного значения коэффициента корреляции определяется t -критерием Стьюдента (t_r). Для пятипроцентного уровня значимости $t_r \geq 1,960$.

Затем определялись значения углового коэффициента регрессии (b), начального коэффициента (a), и на основании полученных данных можно было найти аналитическую зависимость между исследуемыми факторами.

С помощью парного регрессионного анализа находилась регрессионная связь между случаями ремонта основных систем и механизмов автомобиля, а также их связь с общим числом случаев ремонта и трудозатратами в чел-ч на поддержание технически исправного состояния автомобилей.

На основании результатов парного регрессионного анализа можно определить целесообразность и возможность проведения многофакторного регрессионного анализа, необходимость которого диктуется не обособленным действием каждого из факторов на значение функции, а действием каждого из факторов в их взаимосвязи.

Проведению многофакторного регрессионного анализа предшествовало объединение исследуемых факторов данной группы автотранспортных предприятий в единый массив. При этом значения функций и аргументов по предприятиям наносились в определенной и строго постоянной последовательности. Результатом данной операции является увеличение числа наблюдений по каждому фактору благодаря применению метода «завода-лет». Тем самым точность исследования значительно повышается, достоверность показаний также увеличивается.

Важным этапом при проведении многофакторного регрессионного анализа является выбор формы связи, характеризующий зависимость общего числа случаев ремонта или величины трудоемкости в чел-ч на ТО и ТР от числа отказов и неисправностей основных систем, узлов и агрегатов автомобилей. Выбор формы связи производился эмпирически на основании графического анализа парных связей. В результате принимается уравнение следующего вида:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_mx_m. \quad (3)$$

Математическая обработка по регрессионному анализу производится по специальной программе на ЭВМ. Определялись при этом средние значения факторов и их среднеквадратические ошибки, коэффициенты парной регрессии со всеми характеристиками этой связи, частные коэффициенты регрессии. На основе коэффициентов парной регрессии вычислялись стандартизованные коэффициенты уравнения множественной регрессии (β -коэффициенты).

С помощью β -коэффициентов определяется теснота связи между функцией и несколькими факторами-аргументами — коэффициент множественной регрессии. Существенность коэффициента множественной регрессии (R) оценивается с помощью t -критерия Стьюдента. В качестве критерия оценки той части функции, которая объясняется за счет вариации принятых во внимание аргументов, принимается коэффициент множественной детерминации (R^2).

Определив с помощью β -коэффициентов a и b , их среднеквадратические ошибки и критерий значимости, можно построить аналитические уравнения (3).

Подставив в уравнение (3) значения коэффициентов регрессии и случаев ремонта по исследуемым факторам-аргументам, получаем расчетные величины всех случаев ремонта или трудозатрат на ТО и ТР ($\hat{y}$).

Для оценки полученных расчетных значений функции находят их среднеквадратическая ошибка, средняя ошибка аппроксимации ϵ и критерий F (Фишера). Для 5%-ного уровня значимости значение F -критерия должно составлять $F \geq 1,528$.

Результаты парного регрессионного анализа приведены для показателей уже сгруппированных значений пяти автотранспортных предприятий и представлены в табл. 1.

Результаты парного регрессионного анализа показателей работы группы грузовых автотранспортных предприятий (табл. 1) показывают в основном тесную регрессионную связь исследуемых величин. Только связь отказов и неисправностей системы питания с некоторыми механизмами автомобиля является незначимой, что вполне объясняется назначением и особенностями работы данной системы.

Результаты парного регрессионного анализа позволяют с большой уверенностью предположить наличие тесной множественной регрессионной связи в наблюдаемых явлениях.

Значение параметров тесноты парной регрессивной связи между трудозатратами на ТО и ТР и случаями ремонта систем, узлов и механизмов автомобилей

№ п.п.	Наименование исследуемых факторов	Принятые обозначения	Значения коэффициентов парной регрессии $r_{yx}(r_{x_i x_{i+1}})$. Значения t -критерия Стьюдента t_r .													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Трудоемкость на ТО и ТР, чел-ч	$y_{ч-ч}$	1													
2	Всего случаев ремонта	y_v	—	2												
3	Двигатель	x_1	0,729 9,985	0,920 22,043	3											
4	Система электрооборудования	x_2	0,685 8,823	0,862 15,942	0,944 14,737	4										
5	Система питания	x_3	0,375 3,795	0,266 2,586	0,474 5,053	0,442 4,621	5									
6	Система охлаждения	x_4	0,363 3,652	0,597 6,985	0,512 5,592	0,548 6,150	0,252 2,549	6								
7	Коробка передач	x_5	0,604 7,116	0,724 9,843	0,722 9,776	0,619 7,399	0,571 6,525	0,334 3,321	7							
8	Подвеска	x_6	0,635 7,719	0,653 8,095	0,753 10,714	0,768 11,252	0,276 2,697	0,544 6,083	0,514 5,620	8						
9	Передний мост	x_7	0,448 4,694	0,193 1,844	0,472 5,020	0,417 4,299	0,095 0,896	0,206 1,970	0,309 3,052	0,471 5,013	9					
10	Рулевое управление	x_8	0,241 2,327	0,516 5,648	0,531 5,880	0,431 4,482	—0,028 0,267	0,194 1,853	0,284 2,787	0,494 5,352	0,667 8,407	10				
11	Задний мост	x_9	0,737 10,226	0,711 9,498	0,861 15,850	0,690 8,931	0,328 3,262	0,392 3,994	0,773 11,440	0,694 9,040	0,508 5,537	0,532 5,891	11			
12	Тормозная система	x_{10}	0,485 5,205	0,729 10,005	0,692 9,003	0,544 6,080	0,266 2,591	0,263 2,561	0,620 7,421	0,524 5,768	0,532 5,887	0,635 7,710	0,713 9,522	12		
13	Кузов	x_{11}	0,622 2,587	0,414 4,263	0,476 5,081	0,612 7,252	0,076 0,715	0,366 3,687	0,246 2,384	0,611 7,236	0,584 6,741	0,566 6,442	0,376 3,812	0,445 4,662	13	
14	Сцепление	x_{12}	0,708 9,410	0,627 7,559	0,779 11,645	0,736 10,185	0,428 4,444	0,431 4,486	0,695 9,067	0,538 5,988	0,403 4,133	0,403 4,125	0,744 10,431	0,559 6,329	0,355 3,565	14

Множественный регрессионный анализ по указанной выше методике позволит получить следующее уравнение зависимости общего числа случаев ремонта от числа случаев ремонта основных систем, узлов и агрегатов автомобилей:

$$y_b = 152,205 + 4,772x_1 + 2,296x_2 + 1,553x_3 + 0,059x_4 + 0,832x_5 + \\ + 0,069x_6 + 2,209x_7 + 1,815x_8 + 1,697x_9 + 0,869x_{10} + \\ + 0,081x_{11} + 0,916x_{12}. \quad (4)$$

Факторы-аргументы, входящие в уравнение (4), описывают исследуемое явление (определяют общее число ремонта в зависимости от числа ремонта принятых во внимание систем) на 92,7% ($R^2=0,927$). Остальные параметры оценки надежности и достоверности уравнения регрессии имеют следующие значения:

$$R = 0,963; t_R = 125,259; \sigma_{\hat{y}} = 400,870 \text{ (при } \bar{y}_b = 1221,133); \\ F = 3,422; \varepsilon = 0,939.$$

Однако некоторые коэффициенты уравнения регрессии (при $x_4, x_5, x_6, x_7, x_{11}, x_{12}$) являются малозначимыми для принятого 5%-ного уровня значимости ($t_{b_i} < 1,960$). Факторы, у которых коэффициенты регрессии являются незначимыми, исключаются, и снова производится оценка коэффициентов регрессии и уравнения регрессии. Такая процедура повторяется до тех пор, пока все коэффициенты регрессии в уравнении не окажутся значимыми.

В результате поочередного исключения менее значимых коэффициентов уравнения регрессии уравнение (4) принимает следующий вид:

$$y'_b = 163,592 + 4,297x_1 + 2,462x_2 + 0,957x_3 + 1,758x_8 + \\ + 1,207x_9 + 0,871x_{10}. \quad (5)$$

Коэффициенты уравнения регрессии (5) имеют следующие значения t -критерия Стьюдента:

$$t_{b_i} = 1,984 - 20,514.$$

Другие критерии оценки уравнения изменились незначительно и составляют:

$$R^2 = 0,922; R = 0,960; t_R = 116,426; \sigma_{\hat{y}} = 399,720; \\ F = 3,422; \varepsilon = 1,320\%.$$

Указанные величины критериев оценки характеризуют высокую степень надежности и достоверности полученной математической зависимости.

Регрессионное уравнение, определяющее зависимость трудоемкости в чел-ч на ТО и ТР автомобилей от числа случаев ремонта основных систем, узлов и агрегатов автомобилей, имеет следующий вид:

$$y_{ч.-ч} = 6197,053 + 16,511x_1 + 41,239x_2 - 14,078x_3 - 23,260x_4 - \\ - 34,140x_5 + 54,316x_6 + 339,420x_7 - 103,249x_8 + 52,239x_9 + \\ + 3,432x_{10} - 37,729x_{11} + 100,546x_{12}. \quad (6)$$

Полученное уравнение (6) характеризуется следующими параметрами: $R^2 = 0,752$; $R = 0,867$; $t_R = 33,236$; $\sigma_{\hat{y}} = 7282$;

$$F = 1,857; \quad \varepsilon = 3,568\%.$$

Но коэффициенты при x_1 , x_3 , x_4 , x_5 , x_{10} имеют недостаточное значение t -критерия Стьюдента, поэтому поочередное исключение малозначимых факторов приводит регрессионное уравнение (6) к виду

$$y'_{ч.-ч} = 6549,261 + 62,782x_2 + 38,159x_6 + 356,657x_7 - \\ - 86,839x_8 + 73,592x_9 - 41,147x_{11}, \quad (7)$$

где $t_{bi} = 2,283 - 5,790$; $R^2 = 0,722$; $R = 0,850$; $t_R = 28,976$; $\sigma_{\hat{y}} = 7084$; $F = 1,820$; $\varepsilon = 3,600\%$.

Критерии оценки регрессионного уравнения (7) свидетельствует о достаточной достоверности уравнения, что позволяет применять приведенные математические зависимости для определения степени загруженности зон технического обслуживания и ремонта данного типа автотранспортных предприятий.

Выводы

1. Регрессионный анализ отказов и неисправностей систем, узлов и агрегатов автомобиля с достаточной достоверностью показал тесную связь между количеством ремонтов преимущественно всех систем и механизмов автомобилей. Это позволит в дальнейшем при определении надежности работы систем, узлов, механизмов автомобиля учитывать и их взаимосвязь.

2. На основании проведенного парного регрессионного анализа были установлены закономерности изменения числа случаев ремонта систем, узлов и агрегатов автомобиля в зависимости от надежности работы каждого из указанных механизмов.

3. Результаты исследования позволили с достаточной точностью установить влияние отказов и неисправностей каждой из систем, узлов и агрегатов автомобиля на общее число случаев ремонта и трудозатраты по восстановлению и поддержанию технически исправного состояния автомобилей в условиях автотранспортных предприятий.