

Методика перевода значения средней наработки на отказ из циклов в километры пробега

Мария В. Белоусова, ОАО «ПФ «КМТ», Санкт-Петербург, Россия

Виталий В. Булатов, ОАО «ПФ «КМТ», Санкт-Петербург, Россия



Мария В.
Белоусова



Виталий В.
Булатов

Резюме. Цель. Оценка показателей надежности на машиностроительном предприятии осуществляется при проектировании изделий и по данным из эксплуатации. На этапе проектирования широко применяются автоматизированные программные комплексы, которые используют различные методы расчета показателей надежности: деревья отказов, цепи Маркова и др. Исходные данные для такого типа расчета основаны на анализе конструкции изделия и характеристиках его узлов и элементов. Совершенно иным образом осуществляется анализ показателей надежности в эксплуатации. Обработка информации об отказах происходит по рекламациям, поступающим от заказчиков и эксплуатирующих организаций, в сервисные службы предприятий-изготовителей. Суммарное количество отказов по всем видам изделий должно оцениваться службой или подразделением надежности в регламентированный срок. Данная процедура обработки данных об отказах необходима для расчета показателей безотказности и ремонтпригодности. По результатам полученных числовых характеристик производится сравнение с установленными в технической документации значениями. На основе данного сопоставления делается вывод о соответствии или несоответствии конкретного изделия заданным требованиям надежности. Значения показателей надежности в технической документации вводятся на основе испытаний на надежность опытных образцов. Однако в виду различия условий проведения испытаний, процедур фиксации их результатов и единиц измерения, значения показателей надежности, устанавливаемые в технической документации и получаемые в процессе эксплуатации, несравнимы. В вагоностроении наработка подвижного состава чаще всего измеряется в километрах пробега. Однако функционирование большого количества компонентов вагонов оценивается в циклах, часах и т.д. Именно в этих единицах измерения в большинстве случаев происходит формирование значений показателей надежности по итогам испытаний опытных изделий. В процессе оценки показателя безотказности для дверей прислонно-сдвижного типа, устанавливаемых на электропоезда пригородного сообщения, возникла необходимость аппроксимирующего перевода наработки, выраженной в циклах открытия/закрытия, в наработку, выраженную в километрах пробега. Вследствие возникшей проблемы было принято решение о построении математической модели, наилучшим образом отображающей зависимость двух разноименных величин. Чаще всего математические модели строятся и верифицируются на основе исходных наблюдений рассматриваемого показателя и объясняющих факторов. В данном случае исходными данными являются один фактор (циклы открытия/закрытия) и показатель (километры пробега), следовательно, можем использовать модель парной линейной регрессии. **Результаты.** Проведен анализ взаимосвязи циклов открытия/закрытия прислонно-сдвижной двери и километров пробега электропоезда пригородного сообщения. На основе этого получена модель парной линейной регрессии. Проведена верификация, по результатам которой, можно сделать заключение о репрезентативности полученных результатов. **Выводы.** Предоставленная методика расчета обобщающего контролируемого показателя надежности (средней наработки на отказ) на примере дверей прислонно-сдвижного типа показывает, что модель парной линейной регрессии может быть использована для перевода средней наработки на отказ из циклов в километры пробега, необходимого для оценки показателей надежности в эксплуатации.

Ключевые слова: надежность, средняя наработка на отказ, подвижной состав, прислонно-сдвижная дверь, парная линейная регрессия

Формат цитирования: Белоусова М.В., Булатов В.В. Методика перевода значения средней наработки на отказ из циклов в километры пробега // Надежность. 2018. Т. 18, № 2. С. 38-41. DOI: 10.21683/1729-2646-2018-18-2-38-41

Введение

Наиболее важным фактором при оценке показателей надежности в вагоностроении является получение достоверной информации о количестве и типах отказов. Многие узлы пассажирских вагонов работают в циклическом режиме, например, подножки, подвески купе, двери и др. Технические условия на компоненты подвижного состава должны содержать значения показателей безотказности, выраженные в циклах, часах, километрах пробега. Значение наработки в циклах определяется расчетным путем и подтверждается по результатам проведения испытаний на надежность. Оценка средней наработки на отказ в циклах в период эксплуатации является затруднительной, а в некоторых случаях невозможной. Поэтому для ее расчета чаще всего используется наработка, выраженная в километрах пробега, так как в процессе эксплуатационных испытаний мониторинг статистических данных в этой непрерывной величине наиболее целесообразен.

Следовательно, возникает вопрос о необходимости в достоверной процедуре конвертации значений наработки. В отечественной литературе данный вопрос не нашел глубокого рассмотрения, несмотря на то, что имеет важное практическое значение. Все вышесказанное подчеркивает необходимость разработки данной методики.

Исходные данные

Цель данного исследования сводится к выявлению вида зависимости между зависимой переменной y (километры пробега электропоезда) от зависимой x (циклы открытия/закрытия дверного блока). В подобных случаях в технических, социально-экономических и др. исследованиях применяют регрессионный анализ.

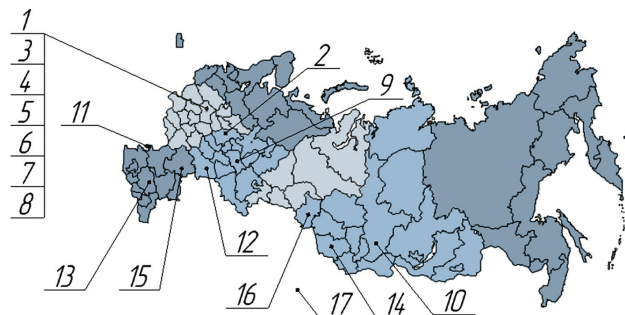


Рисунок 1 – Моторвагонные депо: 1 – «Аэроэкспресс»; 2 – «Горький-Московский»; 3 – «Любня» (ТЧ-14 МСК); 4 – «Апрелевка» (ТЧПРИГ-20); 5 – «Москва-2 Ярославская»; 6 – «Нахабино» (ТЧ-17 МСК); 7 – «Раменское» (ТЧ-7 МСК); 8 – «Железнодорожная»; 9 – «Казань» (ТЧМ-17); 10 – «Красноярск»; 11 – «Ростов»; 12 – «Анисовка» (ТЧМ-14); 13 – «Минеральные Воды»; 14 – «Алтайская»; 15 – «Волгоград»; 16 – «Омск»; 17 – «Караганда» (Республика Казахстан)

Рассмотрим применение модели парной линейной регрессии на примере перевода значения наработки из циклов в километры для прислонно-сдвижных дверей электропоездов пригородного сообщения.

Контролируемым показателем надежности дверного блока в соответствии с технической документацией является средняя наработка двери на отказ ($T_{\text{ТД}}^{\text{км}}$) – не менее 300 000 циклов открытия/закрытия.

На первом этапе была сформирована выборка по 17 моторвагонным депо (рисунок 1) и 27 направлениям следования электропоездов.

Оценка расстояний между станциями каждого направления выборки осуществлялась при помощи открытых источников информации [2, 3].

В качестве объекта исследования используется l_i – количество циклов открытия/закрытия и S_i – расстояние в километрах, пройденное электропоездом за соответствующее количество циклов l_i в i -м направлении, $i = 1, 2, \dots, n$ (таблица 1).

Таблица 1

i	l_i	S_i , км	i	l_i	S_i , км	i	l_i	S_i , км
1	11	20,853	10	19	40,0389	19	27	93,6574
2	12	36,5727	11	21	53,6669	20	28	62,5396
3	12	26,9275	12	21	61,2759	21	29	66,8559
4	13	34,0387	13	22	58,8737	22	30	62,365
5	13	35,8461	14	22	46,6185	23	34	64,4684
6	13	55,4732	15	23	50,6731	24	39	106,451
7	13	34,7382	16	23	42,7334	25	42	105,483
8	14	32,3032	17	24	59,7328	26	47	129,837
9	15	28,8071	18	24	43,8535	27	47	102,54

Согласно основным предпосылкам регрессионного анализа число наблюдений должно превышать число параметров регрессии, включаемых в модель, иначе параметры регрессии оказываются статически незначимыми [5].

Модель парной линейной регрессии

Эмпирический метод нахождения функциональной зависимости сводится к оценке неизвестных параметров по методу наименьших квадратов (МНК). Предполагается, что между фактором и показателем существует зависимость вида $y = \lambda + \beta x + \varepsilon$. Для начала, выбирается функция $\hat{f}(x)$, значения параметров которой находятся таким образом, чтобы минимизировать сумму квадратов отклонений фактических значений признака y_i от расчетных $\hat{y}_i = \hat{f}(x_i)$:

$$\min \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2.$$

По исходным данным была построена диаграмма зависимости показателя (км) от фактора (циклы), за-

тем были вычислены коэффициенты регрессии a и b , и значения \hat{y}_p , на корреляционном поле была построена линия регрессии (рисунок 2).

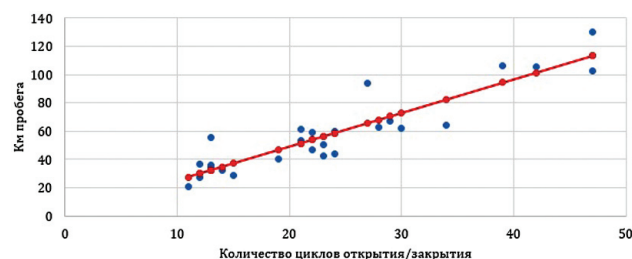


Рисунок 2 – Диаграмма зависимости показателя (км) от фактора (циклы) и линейная регрессия

Таким образом, уравнение парной линейной регрессии имеет вид:

$$\hat{y} = 2,38684x + 1,27483.$$

Верификация модели

Для обоснования корректности полученного уравнения парной линейной регрессии применим гипотезы о статистической значимости полученных оценок.

3.1. Проверка значимости коэффициента корреляции

Мерой тесноты линейной связи двух случайных переменных является коэффициент линейной корреляции Пирсона, оценкой которого является выборочный коэффициент корреляции r_{xy} . В данном случае $r_{xy} = 92\%$. Для проверки гипотезы H_0 о статистической значимости

коэффициента r_{xy} вычисляется статистика $t_r = \frac{r_{xy} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}}$,

имеющая при справедливости альтернативной ей гипотезы H_1 распределение Стьюдента с числом степеней свободы $n-2$. Получили $t_r = 57,5$, что больше $t_{\text{табл}} = 2,06$, определяемого по таблице распределения Стьюдента при $n-2$ степенях свободы как критическая точка, соответствующая двусторонней критической области с уровнем значимости 5%. Следовательно, можно признать коэффициент r_{xy} статистически значимым, и, согласно шкале Чеддока, теснота связи между показателем и фактором весьма высокая.

3.2. Проверка значимости линейной регрессии

Также проверим значимость линейной регрессии в целом. Для этого вычислим коэффициент детерминации R^2 и статистику F по формуле:

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot (n-2).$$

Если значение этой статистики больше критического значения при уровне значимости 5%, то гипотеза H_0 о

незначимости линейной регрессии отвергается. При подстановке исходных данных получаем, что $F = 132,4$, что больше критической точки по таблице распределения Фишера $F_{\text{табл}} = 4,24$ с $(1, n-2)$ степенями свободы, значит, построенное уравнение регрессии статистически значимо.

3.3. Проверка гипотезы о гомоскедастичности

Одним из основных предположений регрессионного анализа важную роль играет предположение о гомоскедастичности, которое заключается в равенстве дисперсий наблюдений:

$$D(y_i) = \sigma^2, \quad i = 1, \dots, n.$$

Невыполнение данного предположения ухудшает качество оценки неизвестных параметров. Для обнаружения гетероскедастичности используют метод Голдфелда-Квандта [1]. Для этого из выборки исключаются m центральных наблюдений и строятся две независимые модели регрессии, для каждой из которых рассчитываются суммы квадратов остатков:

$$\tilde{S}_1^2 = \sum_{i=1}^{\frac{n-m}{2}} (y_{i_1} - \hat{y}_{i_1})^2,$$

$$\tilde{S}_2^2 = \sum_{i=\frac{n+m}{2}+1}^n (y_{i_2} - \hat{y}_{i_2})^2.$$

Далее рассчитывается статистика $\tilde{F} = \frac{\tilde{S}_2^2}{\tilde{S}_1^2}$. Если гипотеза верна, то F -статистика имеет распределение Фишера с $\left(\frac{n-m}{2} - 2; \frac{n-m}{2} - 2\right)$ степенями свободы. Получили значение $\tilde{F} = 2,58$, а критическое значение по таблице распределения Фишера $F_{\text{табл}} = 3,79$. В силу того, что $\tilde{F} < F_{\text{табл}}$, гипотеза гомоскедастичности принимается.

Заключение

Построим точечный прогноз $\hat{y}_p = a + b \cdot x_p$ показателя y_p при значении фактора $x_p = 300000$ и найдем доверительный интервал полученного прогноза с уровнем доверия 0,95:

$$\hat{y}_p - m_y \cdot t_{\text{табл}} < y_p < \hat{y}_p + m_y \cdot t_{\text{табл}},$$

$$\text{где } m_y = S_{\text{ост}} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_p - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}.$$

Получим следующее значение прогноза: $y_p = 1,27483 + 2,38684 \cdot x_p = 716\,053$, доверительный интервал для которого – (58788; 844 217).

Таким образом, получаем значение контролируемого показателя надежности (средняя наработка на отказ) $T_{\text{ТД}}^{\text{КМ}} = 716053 \approx 700000$, найденного с помощью уравнения парной линейной регрессии.

Полученные результаты предназначены для использования в качестве контролируемого показателя надежности при оценке уровня безотказности дверей прислонно-сдвижного типа. Данный подход можно рекомендовать для оценки средней наработки на отказ других узлов наземного пассажирского транспорта, работающих в циклическом режиме.

Библиографический список

1. Буре В. М., Евсеев Е. А. Основы эконометрики. СПб.: Издательство СПбГУ. 2004.
2. Google Карты: [сайт]. URL: <https://www.google.ru/maps> (дата обращения: 05.05.2017)

3. Яндекс. Карты: [сайт]. URL: <https://yandex.ru/maps> (дата обращения: 05.05.2017)

4. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.

5. Ферстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. Руководство для экономистов. Перевод с немецкого и предисловие В. М. Ивановой, М.: «Финансы и статистика», 1983.304 с.

Сведения об авторах

Мария В. Белоусова, инженер по надежности ОАО «ПФ «КМТ», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: 27bmw1993@mail.ru

Виталий В. Булатов, кандидат технических наук, инженер по надежности ОАО «ПФ «КМТ», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: bulatov-vitaly@yandex.ru

Поступила 06.11.2017