

Прогнозирование ремонтпригодности лесозаготовительных машин

В. Н. Шиловский¹
В. А. Кяльвияйнен

Петрозаводский государственный университет

АННОТАЦИЯ

Приводится методика прогнозирования времени восстановления трансмиссии в зависимости от веса машины.

Ключевые слова: ремонтпригодность, время восстановления, вес машины, корреляция, прогнозирование.

SUMMARY

The technique of forecasting recovery time of transmission depending on empty weight.

Keywords: repairability, recovery time, empty weight, correlation, forecasting.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В ходе проектирования лесозаготовительной машины (ЛЗМ) перед конструктором периодически возникает задача оценки ремонтпригодности создаваемой конструкции с целью убедиться в обоснованности принятых решений.

Задача качественной оценки уровня ремонтпригодности машины на стадиях проектирования решается, в основном, такими методами, как метод сравнения с прототипом и экспертным методом [1], в том числе, методом оценки по баллам при отсутствии явно выраженного прототипа.

Количественные методы задания и оценки ремонтпригодности позволяют создать и использовать методы прогнозирования показателей ремонтпригодности, основанные на использовании методов и аппарата математической статистики и, в первую очередь, методов корреляции, многофакторного и регрессионного анализа [2]. Границы применения того или иного метода определяются многими факторами, в том числе, степенью конструктивной преемственности машин и однородностью условий их обслуживания и ремонта. Поэтому прогноз показателя может быть корректным, если значения конструктивных параметров оцениваемого элемента, подставляемые в уравнение, находятся в пределах матрицы наблюдений, на основе которой получено уравнение связи или регрессии.

Конкретной задачей прогнозирования является предсказание количественной величины показателя ремонтпригодности проектируемого объекта.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве примера определим уравнение связи между величиной времени восстановления работоспособности лесозаготовительной машины и весом ЛЗМ.

Рассмотрим количественные характеристики ремонтпригодности тракторов «ОТЗ» [ТДТ-55А; ТБ-1М (ТБ-1М-15)] и лесозаготовительных машин на базе (ЛП-30Г; ПЛ-1В; ЛП-17А).

Одним из основных количественных показателей ремонтпригодности ЛЗМ является их среднее время восстановления или среднее время устранения среднестатистического отказа. Одной из основных систем, время устранения отказа которой в наибольшей степени зависит от агрегатированности, то есть насыщения технологическим оборудованием и гидросистемой, является трансмиссия ЛЗМ. Наличие более сложного технологического оборудования и гидросистемы определяет увеличение веса ЛЗМ как по сравнению с базовой моделью, так и по сравнению с ее аналогами и прототипами.

В таблице 1 представлены данные опытных наблюдений за тракторами «ОТЗ» и ЛЗМ на их базе за наработку в объеме 3000 моточасов в условиях опорных пунктов КарНИИЛПа [3], то есть лесозаготовительных предприятий Республики Карелия.

Для определения уравнения связи (корреляции) между весом ЛЗМ (x) и средним временем восстановления (y), то есть устранения среднестатистического отказа трансмиссии (y), согласно рекомендациям работы [4], составим расчетную вспомогательную таблицу 2, предполагая, согласно рисунку 1, непрямолинейность характера искомого уравнения связи, уравнения параболы вида: $y = ax^2 + bx + c$.

По результатам вспомогательных расчетов составим ориентировочную таблицу 3. В заголовках первых трех столбцов и всех строчек таблицы записываются выражения, которые в принятом уравнении параболы являются множителями при параметрах a , b , c , то есть x^2 – при параметре a , x – при параметре b и 1 – при параметре c . В заголовке последнего столбца ставится определяемая по этому уравнению величина y . Затем в каждой клетке этой таблицы записываются произведения двух соответствующих заголовков. Например, на пересечении второго столбца (с заголовком x) и первой строчки (с заголовком x^2) следует записать произведение этих заголовков x^3 . Если не принимать во внимание повторения, то в таблице имеется восемь разных выражений (x^4 , x^3 , x^2 , x , x^2y , xy , y и 1). В окончательной ориентировочной таблице вместо 1 записано 5 . Это сделано на том основании, что во всех клетках записываются суммы числовых значений соответствующих выражений. Единицу нужно было повторять пять раз, то есть получилось бы число 5 , что и записано в таблицу. Вместо едини-

¹ Авторы – соответственно профессор и аспирант кафедры технологии металлов и ремонта.
© Шиловский В. Н., Кяльвияйнен В. А., 2010

цы в ориентировочной таблице записывается общее число наблюдений.

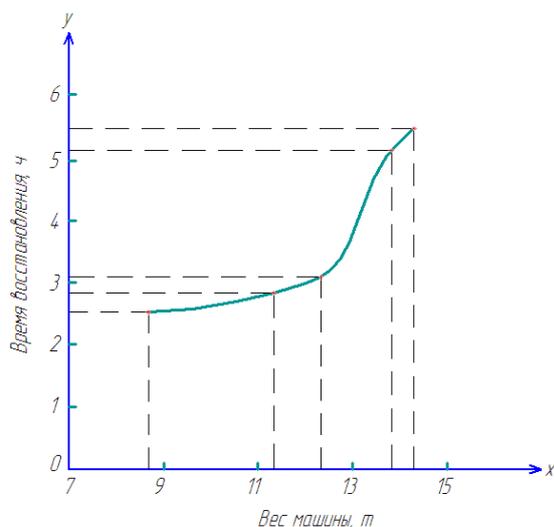


Рис. 1. Эмпирическая зависимость времени восстановления от веса машины

С помощью окончательной ориентировочной таблицы составляются так называемые «нормальные» уравнения, при совместном решении которых можно определить числовые значения параметров **a**, **b**, **c**. Первое уравнение получаем из чисел первой строчки, второе – из чисел второй и третье – из чисел третьей, причем первые три числа каждой строчки служат коэффициентами при параметрах **a**, **b**, **c**, а последние числа являются свободными членами уравнения.

Итак, получаем систему трех, так называемых «нормальных», уравнений с тремя неизвестными значениями параметров **a**, **b**, **c**:

$$123005,99a + 9514,61b + 749,60c = 3130,75;$$

$$9514,61a + 749,60b + 60,40c = 241,93;$$

$$749,60a + 60,40b + 5,00c = 19,10.$$

Систему уравнений с целью определения количественных значений параметров решаем способом сложения и вычитания. Первоначально каждое уравнение соответственно делят на коэффициент при **c** и получают новую систему уравнений с коэффициентом **1** при **c**. Затем для исключения параметра **c** вычитают второе уравнение из первого и третье из второго. Из оставшихся двух уравнений с двумя неизвестными **a** и **b** таким же способом исключают параметр **b** и находят значение параметра **a**. Подставив значение параметра **a** в одно из уравнений с двумя неизвестными, определим значение параметра **b**. Затем, подставив значения параметров **a** и **b** в одно из уравнений с тремя неизвестными, находим значение параметра **c**. В нашем случае параметры **a**, **b** и **c** равны:

a = 0,075; **b** = -1,15; **c** = 6,49. Правильность вычисленных параметров проверим путем подстановки их в одно из первоначальных уравнений.

Проверка:

$$749,60 \cdot 0,075 + 60,40 \cdot (-1,15) + 5 \cdot 6,49 = 19,06 \approx 19,10.$$

Вычисления сделаны правильно. Разница в 0,04 обусловлена округлением при вычислениях.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Подставив полученные значения параметров в уравнение параболы $y = ax^2 + bx + c$, получаем: $y = 0,075x^2 - 1,15x + 6,49$. Пригодность полученного уравнения оценим путем сравнения экспериментальных данных с данными, вычисленными по этому уравнению. Результаты расчетных и экспериментальных данных представлены в таблице 4.

Наименьшая сумма квадратов отклонений (Δ^2) принятого уравнения равна 0,35.

Данное уравнение допустимо для практического использования, хотя не исключаются и более точные результаты при использовании другой формулы, например типа $y = ax^b$.

Учитывая, что область применения уравнения может быть расширена до 20 % от исследуемых предельных величин параметра, то есть веса ЛЗМ, его можно применять в диапазоне изменения веса проектируемой машины от 7,0 до 17,0 тонн.

Итак, по результатам исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Прогнозирование количественных значений показателей ремонтпригодности как показателя качества перспективных лесозаготовительных машин может быть осуществлено с использованием обыкновенных корреляционных уравнений, основывающихся на статистических результатах испытаний на надежность аналогов и прототипов ЛЗМ.
2. Корреляционное уравнение связи между весом машины и величиной времени восстановления работоспособного состояния трансмиссии для тракторов «ОТЗ» и лесозаготовительных машин на их базе может представлять собой уравнение параболы вида $y = 0,075x^2 - 1,15x + 6,49$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ремонтпригодность машин / Под ред. проф. П. Н. Волкова. М.: Машиностроение, 1975. 368 с.
2. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. М.: Наука, 1971. 576 с.
3. Шиловский В. Н. Теоретические основы и стратегии организации маркетинга и менеджмента технического сервиса территориально распре-

ленных машин и оборудования: Монография /
Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. 324 с.

4. Леонтьев Н. Л. Техника статистических вычислений / Н. Л. Леонтьев. М.: Лесная промышленность, 1996. 247 с.

Таблица 1
Исходные данные для определения уравнения связи между временем восстановления и весом ЛЗМ

Показатели массы и ремонтпригодности	Наименование и марка лесозаготовительной машины				
	Трактор ТДТ-55А	Лесопогрузчик ПЛ-1В	Сучкорезная машина ЛП-30Б	Трактор ТБ-1М	Валочно-трелевочная машина ЛП-17А
Масса, т	8,7	11,3	12,3	13,8	14,3
Среднее время восстановления трансмиссии, ч	2,5	2,8*	3,1	5,2	5,5

*) приведено время устранения среднестатистического отказа в целом по лесопогрузчику.

Таблица 2
Результаты вспомогательных расчетов для определения уравнения связи в виде уравнения параболы второго порядка

Значение аргумента, х (т)	Значение функции, у (ч)	Вспомогательные данные				
		x^2	x^3	x^4	x^2y	xy
8,7	2,5	75,69	658,50	5728,95	189,23	21,75
11,3	2,8	127,69	1442,90	16304,77	357,53	31,64
12,3	3,1	151,29	1860,87	22888,70	469,00	38,13
13,8	5,2	190,44	2628,07	36267,37	990,29	71,76
14,3	5,5	204,49	2924,27	41816,20	1124,70	78,65
$\Sigma 60,4$	$\Sigma 19,1$	$\Sigma 749,60$	$\Sigma 9514,61$	$\Sigma 123005,99$	$\Sigma 3130,75$	$\Sigma 241,93$

Таблица 3
Данные ориентировочной таблицы для определения параметров **a**, **b**, **c** параболы второго порядка $y = ax^2 + bx + c$ по способу наименьших квадратов

Обозначения	x^2	x	1	y
x^2	$x^4 = 123005,99$	$x^3 = 9514,61$	$x^2 = 749,60$	$x^2y = 3130,75$
x	$x^3 = 9514,61$	$x^2 = 749,60$	$x = 60,40$	$xy = 241,93$
1	$x^2 = 749,60$	$x = 60,40$	1 = 5,00	y = 19,10

Таблица 4
Сравнение опытных и вычисленных по формуле величин среднего времени устранения отказов

Вес машины, х (т)	Время восстановления, у (ч)		Разница, Δ		Δ^2
	Опытное	Вычисленное	Абсолютная, ч	в %	
8,7	2,5	2,20	-0,30	-12	0,09
11,3	2,8	3,07	0,27	9	0,07
12,3	3,1	3,44	0,33	10	0,09
13,8	5,2	4,90	-0,30	-6	0,09
14,3	5,5	5,38	-0,12	-2	0,01