

УДК 630*36

В.Н. Шиловский, В.А. Кяльвияйнен

Петрозаводский государственный университет

Шиловский Вениамин Николаевич родился в 1945 г., окончил в 1970 г. Петрозаводский государственный университет, доктор технических наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта ПетрГУ. Имеет более 200 печатных трудов в области надежности и ремонта лесных машин.
E-mail: tmir@psu.karelia.ru.



Кяльвияйнен Вейкко Армасович родился в 1987 г., окончил в 2010 г. Петрозаводский государственный университет, аспирант кафедры технологии металлов и ремонта ПетрГУ. Имеет 10 печатных работ в области повышения уровня технической эксплуатации лесозаготовительных машин.
E-mail: vek-1987@mail.ru.



ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Предложена методика оценки и прогнозирования времени восстановления работоспособности и трудоемкости технического обслуживания лесозаготовительных машин. Обоснованы уравнения корреляционной связи между временем восстановления работоспособности трансмиссии и весом машины, а также между оперативной трудоемкостью обслуживания и техническими параметрами машины.

Ключевые слова: эксплуатационная технологичность, время восстановления работоспособности, оперативная трудоемкость обслуживания, технические параметры конструкции, корреляционная связь.

При проектировании лесозаготовительной машины (ЛЗМ) перед конструктором периодически возникает задача оценки эксплуатационной технологичности (ЭТ) создаваемой конструкции в целях подтверждения обоснованности принятых решений.

Задача качественной оценки уровня ЭТ ЛЗМ на стадии проектирования решается, в основном, методами сравнения с прототипом и экспертным [3], а при отсутствии явно выраженного прототипа – методом оценки по баллам.

Количественные методы задания и оценки ЭТ позволяют создавать и использовать методы прогнозирования показателей ЭТ, основанные на использовании математической статистики и, в первую очередь, методов корреляции, многофакторного и регрессионного анализов [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 целью является предсказание количественного значения показателя ЭТ проектируемого объекта.

В качестве примера определим уравнение связи между временем восстановления работоспособности ЛЗМ и ее весом.

Рассмотрим характеристики ЭТ тракторов Онежского тракторного завода (ОТЗ): ТДТ-55А, ТБ-1М (ТБ-1М-15) и ЛЗМ на их базе (ЛП-30Г, ПЛ-1В, ЛП-17А).

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

В табл. 1 представлены данные опытных наблюдений за тракторами ОТЗ и ЛЗМ на их базе за наработку в объеме 3000 мото-ч в условиях лесозаготовительных предприятий Республики Карелия [4, 5].

Таблица 1

Исходные данные для определения уравнения связи между временем восстановления и массой ЛЗМ

Показатель ЭТ ЛЗМ	Трактор ТДТ-55А	Лесо-погрузчик 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

* Время устранения среднестатистического отказа в целом по лесопогрузчику.

Для определения уравнения связи (корреляции) между весом ЛЗМ (x) и средним временем восстановления (y), т. е. устранения среднестатистического отказа трансмиссии, согласно рекомендациям работы [1] и рисунка, составим расчетную вспомогательную табл. 2, предполагая непрямолинейность искомого уравнения связи – уравнения параболы второго порядка $y = ax^2 + bx + c$.

Эмпирическая зависимость
времени восстановления от
массы машины

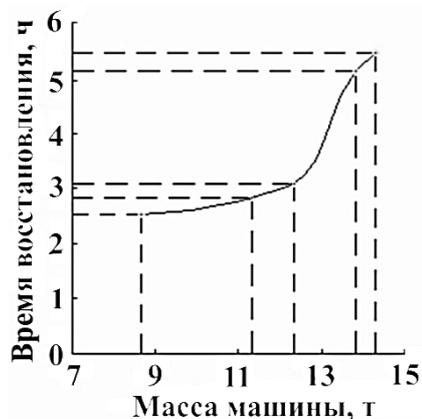


Таблица 2

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

Аргумент <i>x</i> , т	Функция <i>y</i> , 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
$\Sigma 60,4$	$\Sigma 19,1$	$\Sigma 749,60$	$\Sigma 9514,61$	$\Sigma 123005,99$	$\Sigma 3130,75$	$\Sigma 241,93$

По результатам вспомогательных расчетов составляется ориентировочная табл. 3. В первых трех столбцах записываются те выражения, которые в принятом уравнении параболы являются множителями при параметрах a , b , c : x^2 – при a ; x – при b ; 1 – при c . В последнем столбце ставится определяемое по этому уравнению значение y . Затем на пересечении второго столбца (x) и первой строки (x^2) записывается их произведение (x^3). Если не принимать во внимание повторения, то в табл. 3 имеется восемь разных выражений (x^4 , x^3 , x^2 , x , x^2y , xy , y и 1). В окончательном варианте ориентировочной таблицы вместо 1 записано 5 . Это сделано на том основании, что во всех клетках записывают суммы числовых значений соответствующих выражений. Единицу нужно было бы повторить пять раз, т. е. получилось бы число 5 , что и есть в таблице. Вместо единицы в ориентировочной таблице записывается общее число наблюдений.

Таблица 3

**Определение параметров a , b , c параболы второго порядка
по способу наименьших квадратов**

Обозначение	x^2	x	1	y
x^2	$x^4 = 123\ 005,99$	$x^3 = 9\ 514,61$	$x^2 = 749,60$	$x^2y = 3\ 130,75$
x	$x^3 = 9\ 514,61$	$x^2 = 749,60$	$x = 60,40$	$xy = 241,93$
1	$x^2 = 749,60$	$x = 60,40$	$1 = 5,00$	$y = 19,10$

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 строки, второе – из чисел второй, третье – из чисел третьей. При этом первые три числа каждой строчки служат коэффициентами при параметрах a , b , c , а последние являются свободными членами уравнения.

Итак, получается система трех нормальных уравнений с тремя неизвестными значениями параметров a , b , c :

$$\begin{aligned} 123\,005,99a + 9\,514,6b + 749,60c &= 3\,130,75; \\ 9\,514,61a + 749,60b + 60,40c &= 241,93; \\ 749,60a + 60,40b + 5,00c &= 19,10. \end{aligned}$$

В целях определения количественных значений параметров систему уравнений решаем способом сложения и вычитания. Первоначально каждое уравнение соответственно делим на коэффициент при c и получаем новую систему уравнений с коэффициентом 1 при c . Затем для исключения параметра c вычитаем второе уравнение из первого и третье из второго. Из оставшихся двух уравнений с двумя неизвестными a и b таким же способом исключаем параметр b и находим параметр a . Подставив a в одно из уравнений с двумя неизвестными, определяем b . Подставляем a и b в одно из уравнений с тремя неизвестными и находим c . В нашем случае: $a = 0,075$; $b = -1,15$; $c = 6,49$. Правильность вычислений параметров проверяем путем подстановки их в одно из первоначальных уравнений:

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

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

Подставляя полученные значения параметров в уравнение параболы $y = ax^2 + bx + c$, получаем: $y = 0,075x^2 - 1,15x + 6,49$. Пригодность полученного уравнения оцениваем путем сравнения экспериментальных данных с данными, вычисленными по этому уравнению, результаты сводим в табл. 4.

Таблица 4

Сравнение опытных и вычисленных по формуле значений среднего времени устранения отказов

Масса машины x , т	Время восстановления y , ч		Разница Δ		Сумма квадратов отклонений 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

Наименьшая сумма квадратов отклонений Δ^2 принятого уравнения составляет 0,35. Данное уравнение допустимо для практического применения, хотя не исключается, что могут быть получены и более точные результаты при использовании другой формулы, например $y = ax^b$.

Учитывая, что область применения уравнения может быть расширена до 20 % от исследуемых предельных значений параметра, т. е. массы ЛЗМ, его можно применять в диапазоне изменения массы проектируемой машины от 7 до 17 т.

Корреляционную связь между оперативной трудоемкостью технического обслуживания (ТО) и техническими параметрами машины представим в виде уравнения регрессии [6]:

$$S = a_0 x_1^{a_1} x_2^{a_2} x_3^{a_3} \dots x_m^{a_m}, \quad (1)$$

где S – оперативная трудоемкость по видам обслуживания (зависимая переменная);

a_0, \dots, a_m – коэффициенты уравнения регрессии;

x_0, \dots, x_m – конструктивные и эксплуатационно-технологические факторы (независимые переменные);

x_1 – средневзвешенная периодичность ТО;

x_2 – число видов ТО;

x_3, x_4, x_5 – число операций обслуживания: соответственно контрольно-заправочных, крепежно-регулирующих, моечно-очистных;

x_6 – число встроенных контрольных приборов;

x_7 – число емкостей, заправляемых маслами;

x_8 – число инструментов, прикладываемых к трактору (используемых при ТО и текущем ремонте).

Связь между результирующими признаками эксплуатационной технологичности (S) и факторами (x_1, x_2, \dots, x_m) можно представить в виде матрицы:

$$\begin{matrix} S_1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ S_2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_n & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{matrix}$$

Таким образом, на основании материалов испытаний тракторов ОТЗ и машин на их базе получено следующее уравнение регрессии:

$$S = 4399,7 x_1^{-0,79} x_2^{-0,80} x_3^{-0,39} x_4^{0,08} x_5^{0,29} x_6^{-0,37} x_7^{0,58} x_8^{0,59}. \quad (2)$$

Все факторы, вошедшие в уравнение (2), по t -критерию значимы при вероятности $\alpha = 0,1$ и числе степеней свободы $\nu = 3$ (коэффициент множественной детерминации $R^2 = 0,89$; критерий Фишера $F = 7,97$). По уравнениям, подобным уравнению (2), можно определять трудоемкость ТО на этапе проектирования, в процессе модернизации машин, а также давать сравнитель-

ную оценку эксплуатационной технологичности разных машин, оценивать эффект различных мероприятий, улучшающих технологичность конструкций машин.

Выводы

1. Прогнозирование количественных значений показателей эксплуатационной технологичности как показателей качества перспективных ЛЗМ может быть осуществлено с использованием обыкновенных корреляционных уравнений, основывающихся на статистических результатах испытаний на надежность аналогов и прототипов ЛЗМ.

2. Корреляционное уравнение связи между массой машины и временем восстановления работоспособного состояния трансмиссии для тракторов ОТЗ и ЛЗМ на их базе может представлять собой уравнение параболы: $y = 0,075x^2 - 1,15x + 6,49$.

3. Уровень эксплуатационной технологичности лесозаготовительной машины оценивается ее приспособленностью к текущему ремонту и техническому обслуживанию через корреляционную связь результирующих признаков (продолжительность и трудоемкость технических воздействий) с эксплуатационными и конструктивными факторами машины. Получено уравнение корреляционной связи оперативной трудоемкости обслуживания тракторов ОТЗ и ЛЗМ с их техническими параметрами.

4. Полученные результаты могут быть использованы разработчиками лесозаготовительной техники, дилерскими пунктами и предприятиями, занимающимися эксплуатацией, обслуживанием и ремонтом лесозаготовительной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Леонтьев Н.Л.* Техника статистических вычислений. М.: Лесн. пром-сть, 1996. 247 с.
2. *Митропольский А.К.* Техника статистических вычислений. М.: Наука, 1971. 576 с.
3. Ремонтпригодность машин / Под ред. П.Н. Волкова. М.: Машиностроение, 1975. 368 с.
4. *Шиловский В.Н., Гольштейн Г.Ю.* Об исследовании параметрического отказа гидросистемы манипулятора бесчokerного трактора // Лесн. журн. 2009. № 4. С. 89–94. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Шиловский В.Н.* Теоретические основы и стратегии организации маркетинга и менеджмента технического сервиса территориально распределенных машин и оборудования: моногр. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. 324 с.
6. Эксплуатационная технологичность конструкций тракторов / В.М. Михлин [и др.]. М.: Машиностроение, 1982. 256 с.

Поступила 26.03.12

V.N. Shilovsky, V.A. Kyalviaynen

Petrozavodsk State University

Estimation of Maintenance Workability of Logging Machines

The article proposes a method of estimating and forecasting restoration time and maintenance burden of logging machines. Correlation equations between transmission restoration time and machine weight, as well as between maintenance burden and technical parameters of logging machines were proved.

Keywords: maintenance workability, restoration time, maintenance burden, technical parameters of construction design, correlation.

