

УКД 630*377

Ю.И. Провоторов, В.Д. Валяжонков

Провоторов Юрий Иванович родился в 1939 г., окончил в 1964 г. Красноярский технологический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь ОАО ЦНИИМЭ, член-корреспондент РАЕН. Имеет более 120 печатных работ в области создания и испытания машин для первичного транспорта леса, ресурсосберегающих технологий и механизации лесозаготовок.



Валяжонков Владимир Дмитриевич родился в 1940 г., окончил в 1966 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 40 научных трудов по теории и конструированию лесотранспортных машин.

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПАРАМЕТРОВ
КОЛЕСНЫХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ МАШИН**

Приведено описание статистических моделей основных параметров КТМ. Показана возможность успешного использования разработанного математико-статистического аппарата при создании новых и модернизации существующих КТМ, а также оценке технического уровня и тенденций развития отечественных и зарубежных колесных трелевочных систем.

Ключевые слова: колесная трелевочная система, статистические модели, уравнение регрессии, параметры, метод парной корреляции.

В настоящее время мировой парк колесных трелевочных машин (КТМ) исчисляются десятками тысяч единиц, а число их моделей – сотнями. Постоянно идет работа по созданию более прогрессивных новых и совершенствованию существующих КТМ. Ее выполнение весьма затруднительно без разработки статистических моделей для оценки и выбора рациональных параметров машин, а также их изменения в наиболее характерных условиях эксплуатации. Проектирование КТМ органически связано с анализом существующих аналогичных конструкций и определением тенденций их развития, способствующих улучшению технико-экономических, экологических и эргономических показателей работы КТМ.

Различные природно-производственные условия (ППУ) эксплуатации и особенности технологии лесозаготовок требуют создания трелевочных систем с варьируемыми параметрами. Чем разнообразнее условия эксплуатации, тем универсальнее должна быть машина и шире диапазон ее параметров. Лесозаготовки как в нашей стране, так и за рубежом выполняют в широком спектре ППУ, такая деконкретизация приводит к расширению вероятностных границ характеристик и параметров КТМ. Тем не менее ста-

статистический анализ показал, что может быть установлена закономерность выявления необходимых параметров КТМ.

Статистическая обработка достаточно представительной совокупности конкретных численных данных о параметрах КТМ, ППУ и возможностях оператора в системе человек – машина – среда позволяет получить вероятностные характеристики последней. Для упрощения решения задачи рассмотрим только входные и выходные параметры отдельных составляющих системы.

Рассматриваемый метод анализа взаимосвязи параметров КТМ дает возможность: нейтрализовать, усреднить и устранить малозначительные факторы; переработать большой объем исходной информации с учетом исторического опыта и ретроспективы создания колесных трелевочных систем; установить объективные связи между параметрами лесозаготовительных машин и выразить их в виде уравнений регрессии. Все это способствует рациональному и эффективному выбору параметров при проектировании колесных трелевочных систем. Однако на правильность их выбора существенное влияние оказывает аппроксимация найденных связей между параметрами, позволяющая с той или иной степенью точности отразить реально существующие зависимости.

Обычно в таких случаях используют метод парной корреляции. Важным элементом его применения является выбор главного критерия, характеризующего большинство основных параметров машины. В тракторостроении за такой критерий принимают конструктивную массу трактора G_T . Тогда для анализа параметрических связей целесообразно использовать уравнения регрессии типа

$$Y = a + b G_T + c G_T^2 + d G_T^3. \quad (1)$$

Здесь y является одним из параметров, изменяющихся под влиянием критерия G_T ; a, b, c, d – коэффициенты регрессии.

Для оценки и выбора рациональных параметров КТМ и выявления характера их изменения в наиболее характерных условиях эксплуатации были использованы данные 750 моделей трех видов трелевочных систем, выпущенных в 1970 – 2004 гг. девятью странами. Это шарнирно-сочлененные двух- и трехосные КТМ и трехосные колесные тракторы-сортиментовозы.

В качестве изменяющихся параметров, входящих в уравнение регрессии (1), приняты: номинальная мощность двигателя (N_e , л.с.); максимальная скорость движения КТМ (V_T , км/ч); колесная база машины (L_6 , м); колесная база тележки трехосной машины (L_T , м); колея КТМ (B_K , м); объем пачки или воза ($Q_{пв}$, м³); масса технологического оборудования ($G_{об}$, т); тяговое усилие лебедки ($P_{л}$, т); грузовой момент гидроманипулятора (M_M , Н·м); вылет стрелы гидроманипулятора (L_M , м); длина и ширина грузовой платформы трактора-сортиментовоза ($L_{п}$ и $B_{п}$, м); рабочая площадь захвата двухосного КТМ (S_2 , м²); рабочая площадь коника трехосного КТМ (S_3 , м²); диаметр и ширина шины двухосного КТМ ($D_{ш}$ и $B_{ш}$, м); диаметр и ширина передних,

средних и задних шин трехосного КТМ ($D_{ш.п}$ и $B_{ш.п}$, $D_{ш.з}$ и $B_{ш.з}$, м); дорожный просвет машины ($H_{п}$, м); масса цепей противоскольжения ($G_{ц}$, кг); давление под передними и задними колесами двухосных КТМ ($q_{п}$ и $q_{з}$, кПа); давление под колесно-гусеничным движителем трехосного КТМ ($q_{ц}$, кПа).

В целом решаемый массив зависимостей имеет следующий вид:

$$\left. \begin{array}{l} N_e, V_T, L_6, L_T, B_k, Q_{п}, G_{об}, P_{л}, M_M; \\ L_M, L_{п}, B_{п}, S_3, S_k, D_{ш}, B_{ш}, D_{ш.п}, B_{ш.п}; \\ D_{ш.з}, B_{ш.з}, H_{п}, G_{ц}, q_{п}, q_{з}, q_{ц}, \end{array} \right\} = f(G_T). \quad (2)$$

Зависимости аппроксимированы с помощью уравнений регрессии (1), коэффициенты которых приведены в табл. 1. В этих уравнениях конструктивная масса КТМ представлена в тоннах. Коэффициент корреляции составляет 74,6 ... 95,3 %, т. е. исходные точки хорошо ложатся на линию регрессии. В целом полученные уравнения, описывающие зависимости (2), с высокой степенью достоверности не являются случайными, так как значимость F-критерия во всех случаях значительно меньше 0,05.

Для рассматриваемых групп КТМ в табл. 2 – 4 представлены матрицы значений коэффициентов парной корреляции (r) основных параметров, характеризующих технический уровень машин. Полученные значения r позволяют судить о тесноте связи между параметрами. При $r > 0,5$ отмечается существенная связь их взаимного влияния, особенно мощности двигателя с массами КТМ, технологического оборудования и грузовым моментом гидроманипулятора, а также G_T с широким рядом других параметров. В большинстве случаев коэффициент корреляции параметров превышает 0,5.

Таблица 1

Коэффициенты регрессионной зависимости (1) между массой колесных трелевочных систем G_T и параметрами, отражающими их основные свойства

Пара-метр	Коэффициент				Пара-метр	Коэффициент			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Двухосные КТМ									
N_e	26,35	8,66	0,84	-0,038	D_T	1,357	0,025	0,001	-
V_T	85,65	-31,9	4,92	-0,23	$B_{ш}$	0,315	0,041	-	-
L_6	-2,46	2,01	-0,26	0,011	$H_{п}$	0,036	0,146	-0,013	0,0006
$Q_{п}$	0,48	-	-	-	$G_{ц}$	0,25	0,041	-	-
$G_{об}$	0,591	0,063	-	-	$q_{п}$	85,31	3,15	-0,021	-
$P_{л}$	-7,96	5,02	-0,25	-	$q_{з}$	115,1	2,55	-0,013	-
S_3	-0,051	0,012	-0,0023	-	-	-	-	-	-
Трехосные КТМ									
N_e	-165,8	37,31	1,04	-	S_k	0,75	0,079	-	-
V_T	27,42	0,0912	-	-	$D_{ш.п}$	1,551	0,029	-	-
L_6	-11,18	3,34	-0,22	0,004	$D_{ш.з}$	1,21	0,017	-	-
L_T	2,67	0,96	0,074	0,0019	$B_{ш.п}$	0,351	0,025	-0,0002	-

B_k	0,019	0,47	-0,029	0,0006	$B_{ш.з}$	0,312	0,019	-0,0002	-
$Q_{п}$	0,17	0,51	0,04	-	$H_{п}$	-1,35	0,416	-0,028	0,0006
$G_{об}$	0,25	0,109	-	-	$G_{ц}$	0,929	0,045	-0,0012	-
M_m	8,741	4,733	-	-	$q_{п}$	85,31	3,15	-0,021	-
L_m	61,49	-14,0	1,137	-0,029	q_3	59,3	0,8	0,005	-
Трехосные тракторы-сортиментовозы									
N_e	1325,7	-335,96	29,4	-0,81	$D_{ш.п}$	1,551	0,029	-	-
V_T	14,903	0,959	-	-	$D_{ш.з}$	1,21	0,017	-	-
$L_б$	6,25	0,33	0,0189	-	$B_{ш.п}$	0,351	0,025	-0,0002	-
L_T	2,67	0,96	0,074	0,0019	$B_{ш.з}$	0,312	0,019	-0,0002	-
B_k	1,157	0,172	-0,059	-	$H_{п}$	0,424	0,0127	-	-
$Q_{п}$	45,6	-6,406	0,286	-	$G_{ц}$	0,929	0,045	-0,0012	-
$L_{п}$	46,65	-11,06	0,93	-0,025	$q_{п}$	85,31	3,15	-0,021	-
$B_{п}$	6,087	-1,108	0,104	-0,0029	$q_{ц}$	59,3	0,8	0,005	-

Анализ данных о двигателях КТМ показал, что наибольшее распространение имеют четырехтактные дизели с водяным охлаждением, высокой степенью сжатия, турбонаддувом и низким удельным расходом топлива. Полученные зависимости $N_e = f(G_T)$ для рассматриваемых КТМ описываются полиномами второй и третьей степени. При этом по характеру изменения они различаются мало.

На трелевочных волоках и лесных дорогах из-за высоты и характера неровностей скорость движения КТМ не превышает 6,0 ... 9,0 км/ч. На ровных дорогах, где возможна максимальная скорость, зависимость $V_T = f(G_T)$ обычно представлена полиномом первой степени.

Для совершенствования компоновочных схем и улучшения управляемости, маневренности, проходимости и устойчивости КТМ важно знать зависимости $L_б = f(G_T)$ и $B_k = f(G_T)$, которые описывают главным образом уравнением регрессии третьей степени. Максимальную ширину колеи трак-

Таблица 2

Матрица значений коэффициентов корреляции основных параметров двухосных КТМ

Параметр	N_e	V_T	B_k	$H_{п}$	$P_{л}$	G_T
N_e	1,000	0,538	0,040	0,105	0,400	0,802
V_T	0,538	1,000	0,027	0,673	0,082	0,043
B_k	0,040	0,027	1,000	0,302	0,509	0,582
$H_{п}$	0,105	0,073	0,302	1,000	0,002	0,022
$P_{л}$	0,400	0,082	0,509	0,002	1,000	0,188
G_T	0,802	0,043	0,582	0,022	0,188	1,000

Таблица 3

Матрица значений коэффициентов корреляции параметров трехосных КТМ

Параметр	N_e	V_T	B_k	$H_{п}$	M_m	$G_{об}$	G_T
N_e	1,000	0,501	0,037	0,475	0,711	0,757	0,537

V_T	0,501	1,000	0,215	0,535	0,075	0,291	0,155
B_K	0,037	0,215	1,000	0,418	0,045	0,507	0,631
H_{II}	0,475	0,535	0,418	1,000	0,213	0,319	0,028
M_M	6,961	0,735	0,441	2,087	9,800	7,830	6,595
G_{06}	0,757	0,291	0,507	0,319	0,795	1,000	0,748
G_T	0,537	0,153	0,631	0,028	0,673	0,748	1,000

Таблица 4

**Матрица значений коэффициентов корреляции параметров
трехосных колесных тракторов-сортиментовозов**

Параметр	N_e	V_T	H_{II}	M_M	G_{06}	Q_{II}	G_T
N_e	1,000	0,530	0,342	0,708	0,783	0,504	0,878
V_T	0,530	1,000	0,100	0,417	0,510	0,325	0,650
H_{II}	0,342	0,100	1,000	0,377	0,174	0,278	0,345
M_M	6,938	4,086	3,694	9,800	8,321	4,135	7,085
G_{06}	0,783	0,510	0,174	0,849	1,000	0,530	0,712
Q_{II}	0,504	0,325	0,278	0,422	0,530	1,000	0,417
G_T	0,888	0,650	0,345	0,723	0,712	0,417	1,000

тора во многом определяет возможность его движения по дорогам общего пользования, она составляет 2,5 ... 2,7 м.

Объем трелеваемой пачки ограничивают как габариты КТМ, так и параметры его технологического оборудования, которые, в свою очередь, определяют массу машины. Для трелевщика, оборудованного клещевым захватом, зависимость $Q_{II} = f(G_T)$ описывают линейным уравнением; для трехосных КТМ – полиномом второй степени. Анализ показывает, что с ростом массы трактора возрастает рейсовая нагрузка и соответственно мощность установленного на нем двигателя. Отмечена линейная связь $G_{06} = f(G_T)$ у двух- и трехосных КТМ. В то же время для трактора-сортиментовоза данная зависимость представлена полиномом второй степени.

4*

Одним из наиболее важных параметров колесных трелевочных систем, определяющих их проходимость, является давление на грунт под ходовой системой. Оно представляет собой величину, производную от опорной площади колеса и приходящейся на него нагрузки, и может быть снижено в два с лишним раза за счет применения гусеничных цепей на колесах балансирной тележки трехосных тракторов. Установлены зависимости давления от массы трактора под его колесами и гусеничным движителем.

В заключение следует отметить, что полученные статистические модели основных параметров КТМ неоднократно успешно реализованы при создании новых и совершенствовании существующих объектов, а также при составлении расширенных технических характеристик новых образцов зарубежной техники в условиях ограниченной информации. В последние десятилетия разработанный математический аппарат играет важную роль в оценке технического уровня и тенденций развития отечественных и зарубежных колесных трелевочных систем.

ОАО ЦНИИМЭ

С.-Петербургская государственная
лесотехническая академия

Поступила 18.12.06

Yu.I. Provotorov, V.D. Valyazhonkov

**Statistical Models of Parameters of Wheeled Forest-industrial
Machines**

The description of statistical models of the basic parameters of wheeled skidding machines is provided. The possibility of successful use of the developed mathematical-statistical instrument in developing new and modernizing existing wheeled skidding machines is demonstrated as well as in the technical level assessment and development tendencies of both domestic and foreign wheeled skidding systems.

