

**МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ГЛАВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ФОРВАРДЕРНЫХ МАШИН**

*Представлены модели формирования главных параметров колесных форвардерных машин. Установлены распределения значений главных параметров машин согласно их назначению и регрессионные зависимости между ними. В качестве основного нагрузочного фактора применяется показатель, отражающий нагрузку от предмета труда, который поднимает и перемещает машина – грузоподъемность транспортного средства.*

**Ключевые слова:** колесная форвардерная машина, энергонасыщенность, грузоподъемность, уравнения регрессии.

**A.V. Andronov, V.D.Valyazhonkov, Yu.A.Dobrynin**

**MODELS OF MAIN PARAMETER FORMATION OF WHEELED FORWARDER MACHINES**

*The models of the main parameter formation of the wheeled forwarder machines are presented. The values distributions of the machine main parameters according to their purpose and regression dependence between them are established. The indicator showing the load from the labor subject which the machine raises and moves – the load capacity of the vehicle – is used as the main load factor.*

**Key words:** wheel forwarder machine, energy saturation, load carrying capacity, regression equations.

---

**Введение.** В настоящее время в России все большее внимание уделяется сортиментной технологии лесозаготовительного процесса. Реализация данной технологии осуществляется наиболее распространенными комплексами в виде валочно-сучкорезно-раскряжовочных (харвестеров) и подъемно-транспортных (форвардеров) машин. Машины оснащены специальным технологическим оборудованием и имеют своеобразную компоновку и колесный движитель. Для работы на грунтах с низкой несущей способностью движитель оснащается съемными гусеницами.

Существенным резервом интенсификации перемещения древесины в условиях лесосеки является рационализация параметров применяемых форвардерных машин. Согласно теории тяговых и транспортных машин, в качестве главных параметров используются мощность и масса машин [1]. Для установления рациональных значений главных параметров форвардерных машин необходимо знать характер и степень влияния на них основного нагрузочного фактора, что обеспечит выбор наиболее эффективной машины.

**Цель исследования:** на основании статистического анализа установить рациональные параметры форвардерных машин с использованием в качестве основного нагрузочного фактора показатель, отражающий нагрузку от предмета труда, который поднимает и перемещает машина, – грузоподъемность транспортного средства.

**Предмет исследования:** колесная форвардерная машина (КФМ). Эта машина состоит из двух модулей, расположенных на полурамах остова, которые соединены между собой шарниром. Обычно передний модуль состоит из моторной установки и кабины управления, задний – из грузового отсека и гидроманипулятора с захватным устройством. Гидроманипулятор загружает грузовой отсек сортиментами, которые далее транспортируются на место складирования. Шарнирное соединение модулей обеспечивает управляемость и устойчивость КФМ.

По своим техническим возможностям практически все модели КФМ являются универсальными. Они могут применяться на разных видах рубок леса. Однако каждая создаваемая модель предназначена для выполнения конкретного вида работ:

- осветление и прореживание насаждений на рубках ухода;
- прореживание и выборочные рубки;
- сплошные и выборочные рубки;
- сплошные рубки;
- сплошные рубки крупномерных древостоев.

Технические характеристики наиболее распространенных КФМ приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Технические данные наиболее распространенных моделей форвардеров**

Компания	Модель	Колесная схема	Мощность, кВт	Масса, кг	Энергонасыщенность, кВт/т	Грузоподъемность, кг	Макс. скорость, км/ч
1	2	3	4	5	6	7	8
Malwa	460	6К6	26	4000	6,5	3700	18,0
Vimek	608	6К6	18	3000	6,0	3000	20,0
LogLander	LL84	Траковая	50	5400	9,26	4500	15,0
AGT	Mini 3.35 Hydro	8К8	47	3500	10,0	3500	9,3
Novotny	LVS 5000	8К8	60	5900	10,17	5000	20,0
Ponsse	Caribou	8К8	125	12100	10,33	10000	28,0
	Gazelle	8К8	129	13800	9,35	10000	28,0
	Wisent	6К6	129	14200	9,09	12000	23,0
		8К8	129	16300	7,91	12000	23,0
	Buffalo-ADS Elephant	6К6 8К8	205 205	17400 18500	11,78 11,08	14000 14000	28,0 28,0
John Deere	810E	8К8	100	9500	10,52	9000	23,0
	1110E	6К6	136	15500	8,77	12000	23,0
		8К8	136	17300	7,86	12000	23,0
	1210E	6К6	140	16200	8,64	13000	23,0
		8К8	140	18100	7,73	13000	23,0
	1510E	6К6	145	16500	8,79	15000	23,0
		8К8	145	18400	7,88	15000	23,0
1910E	6К6	186	19050	9,76	19000	21,0	
	8К8	186	21800	8,53	19000	21,0	
Komatsu	830.3	8К8	107	10500	10,19	9000	25,0
	840.4	6К6	130	14000	9,28	12000	23,0
		8К8	130	15600	8,33	12000	23,0
	860.4	6К6	150	14460	10,37	14000	23,0
		8К8	150	16060	9,34	14000	23,0
	865	6К6	158	17100	9,24	15000	23,0
		8К8	158	18900	8,36	15000	23,0
	890.3	6К6	170	16800	10,12	18000	25,0
8К8		170	19100	8,90	18000	25,0	
895	8К8	193	23800	8,11	20000	23,0	

1	2	3	4	5	6	7	8
Logset	4F	8K8	108	10000	10,8	10000	25,0
	5F	8K8	125	13500	9,25	12000	25,0
	8F	8K8	166	17000	9,76	15000	25,0
Tigercat	1045	8K8	150	16200	9,26	11000	24,0
	1065	8K8	190	21150	8,98	18000	20,0
	1075	8K8	205	23150	8,86	20000	20,0

Главные параметры КФМ изменяются в широком диапазоне значений:

- мощность  $N_e$  изменяется от 18 до 205 кВт;
- масса  $M_m$  – от 3000 до 23000 кг;
- энергонасыщенность  $N_e/M_m$  – от 6,0 до 15,0 кВт/т;
- грузоподъемность  $MГ$  – от 3000 до 20000 кг.

Минимальную массу, мощность и грузоподъемность имеют легкие форвардеры для осветления и прореживания насаждений. Значения данных показателей соответственно лежат в диапазонах 3000 кг, 20–90 кВт и 3000–9000 кг. Производством легких КФМ малыми сериями занимаются европейские компании Vimek, Logbear, LogLander и другие.

Максимальные значения данных показателей имеют сверхтяжелые форвардеры для сплошной рубки крупномерных древостоев. Они обладают массой 20 000–24 000 кг, мощностью 180–220 кВт и грузоподъемностью 18 000 – 20 000 кг. На них приходится около 20 % всех выпускаемых КФМ в мире. Производством данных КФМ занимаются такие крупные компании, как JohnDeere, Komatsu и Tigercat.

Основное количество мирового парка КФМ занимают машины, предназначенные для выполнения прореживания, выборочных и сплошных рубок. Парк данных машин составляет более 75 % всех КФМ в мире. Их производством занимаются известные машиностроительные компании лесной техники Северной Америки и Европы JohnDeere, Komatsu, Ponsse, Tigercat и многие другие. КФМ этой группы имеют следующие значения показателей:

- для прореживания и выборочной рубки –  $M_m = 9\ 000\text{--}12\ 000$  кг,  $N_e = 90\text{--}110$  кВт и  $MГ = 8\ 000\text{--}11\ 000$  кг;
- для сплошной и выборочной рубки –  $M_m = 12\ 000\text{--}15\ 000$  кг,  $N_e = 110\text{--}140$  кВт и  $MГ = 10\ 000\text{--}14\ 000$  кг;
- для сплошной рубки –  $M_m = 15\ 000\text{--}18\ 000$  кг,  $N_e = 140\text{--}180$  кВт и  $MГ = 14\ 000\text{--}18\ 000$  кг.

Значения показателя энергонасыщенности КФМ для всех групп назначения машин мало отличаются друг от друга. Они лежат в одном узком диапазоне изменения 7,5–12,0 кВт/т. На данный диапазон приходится примерно 90 % всех значений энергонасыщенности.

**Метод исследования.** Для получения достоверности рассматриваемых показателей форвардерных машин выполнена статистическая обработка их цифровой информации. Минимальный объем выборок наблюдений был принят 75. Он получен при критерии Стьюдента, равном 1,96, коэффициенте вариации – 20 % и точности – 5 %.

**Результаты исследования.** Результаты статистической обработки приведены в таблице 2. Статистический анализ выполнен с применением программного обеспечения Statistica 7.

Таблица 2

## Значения основных статистик главных показателей КФМ

Основные статистики	Значение			
	Масса $M_m$ , кг	Мощность $N_e$ , кВт	Грузоподъемность $MГ$ , кг	Энергонасыщенность $N_e/M_m$ , кВт/т
Математическое ожидание $m(X)$	13968,47	130,11	12276,93	9,19
Среднеквадратичное отклонение $\sigma$	5260,51	48,88	4248,39	1,57
Коэффициент вариации $C_v$ , %	37,7	37,5	34,6	17,1
Критерий $\chi^2$ (Chi-Square)	19,33	21,73	16,29	3,64
и его уровень значимости $p$	0,08	0,07	0,11	0,18

Согласно приведенным в таблице 2 данным, значения уровня значимости критерия  $\chi^2$  (Chi-Square) для всех показателей  $p = 0,08-0,18$  превышает  $0,05$ . Можно утверждать, что распределение выборок показателей не отличаются от нормального. В качестве примера на рисунке 1 представлено графическое изображение нормального распределения показателя энергонасыщенности современных колесных форвардерных машин.

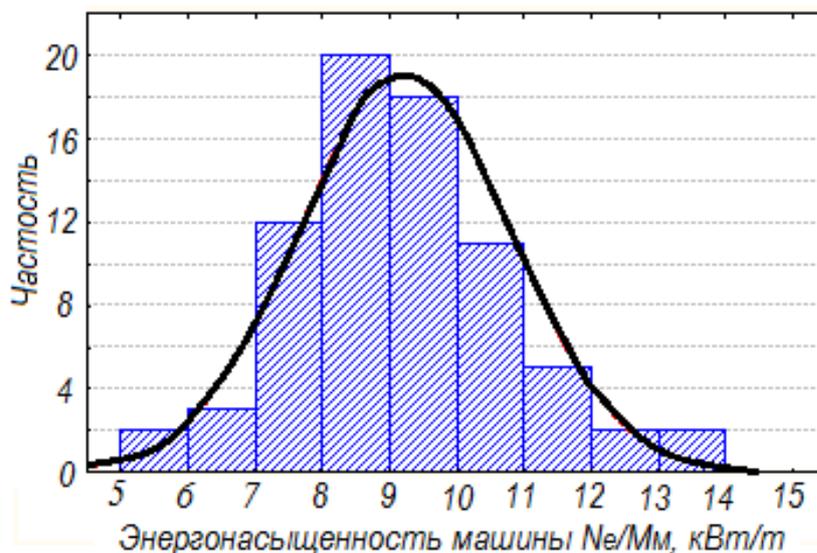


Рис. 1. Нормальное распределение показателя энергонасыщенности современных колесных форвардерных машин

Судя по значениям коэффициента вариации  $C_v = 34,6-37,5 \%$ , математические ожидания массы  $m(MM)$ , мощности  $m(Ne)$  и грузоподъемности  $m(MГ)$  имеют заметные колебания. В то же время математическое ожидание энергонасыщенности  $Ne/MM$  изменяется незначительно. Заметные колебания массы, мощности и грузоподъемности можно объяснить разнообразием взглядов производителей на конструктивное использование машин.

Характер и степень влияния грузоподъемности машины  $MГ$  на ее массу  $MM$  и мощность  $Ne$  наглядно представлены на рисунке 2. Приведенные зависимости описываются простыми линейными уравнениями регрессии. Их коэффициент детерминации  $R^2$  равен  $0,715$  и  $0,893$ , это говорит о том, что варьирование показателей  $MM$  и  $Ne$  на  $72$  и  $89 \%$  описывается линейным уравнением. Уровни значимости  $t$ -критерия для обоих коэффициентов всех уравнений менее  $0,05$ , т.е. коэффициенты достоверны на  $5 \%$ -м уровне значимости. Уровни значимости  $F$ -критерия, оценивающего достоверность регрессионного уравнения в целом, у всех уравнений меньше  $0,05$ , что говорит о высокой степени достоверности полученных уравнений зависимостей показателей  $MM$  и  $Ne$  от фактора  $MГ$ . Коэффициент корреляции между переменными составляет  $r = 0,83-0,92$ . На рисунке 2 показаны доверительные интервалы, в которых с вероятностью  $95 \%$  находится уравнение регрессии.

Оценка степени влияния грузоподъемности  $MГ$  машины показывает, что с ее увеличением на  $2000$  кг масса  $MM$  и мощность  $Ne$  соответственно увеличиваются на  $1000$  кг и  $15$  кВт. Судя по углу наклона линии регрессии, наибольшая интенсивность влияния оказывается на мощность. Полученные уравнения регрессий дают возможность прогнозировать значения главных параметров КФМ на стадии проектирования машины исходя из требования ее создания определенной грузоподъемности. Кроме того, полученные уравнения зависимостей  $MM = f(MГ)$  и  $Ne = f(MГ)$  позволяют определить значения данных параметров при выборе машины для производственной эксплуатации исходя из требований к ее грузоподъемности.

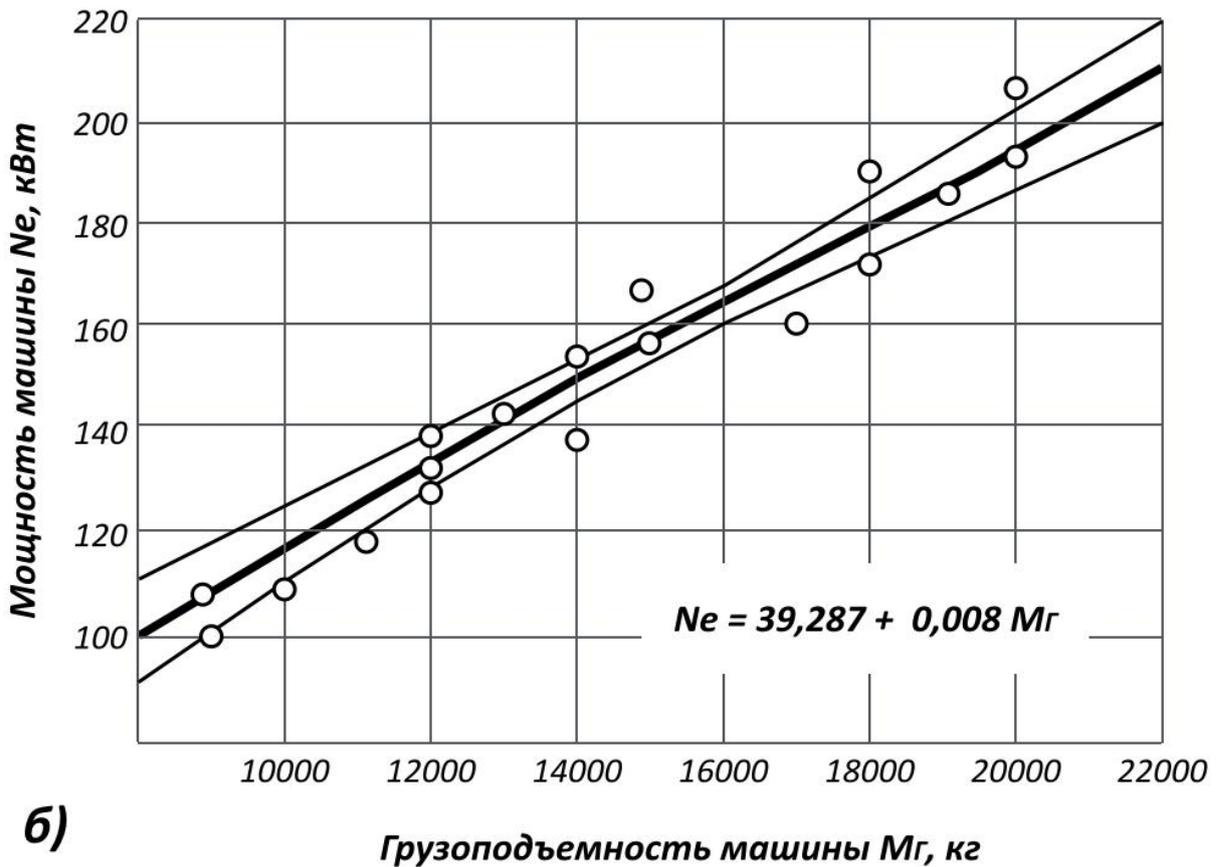
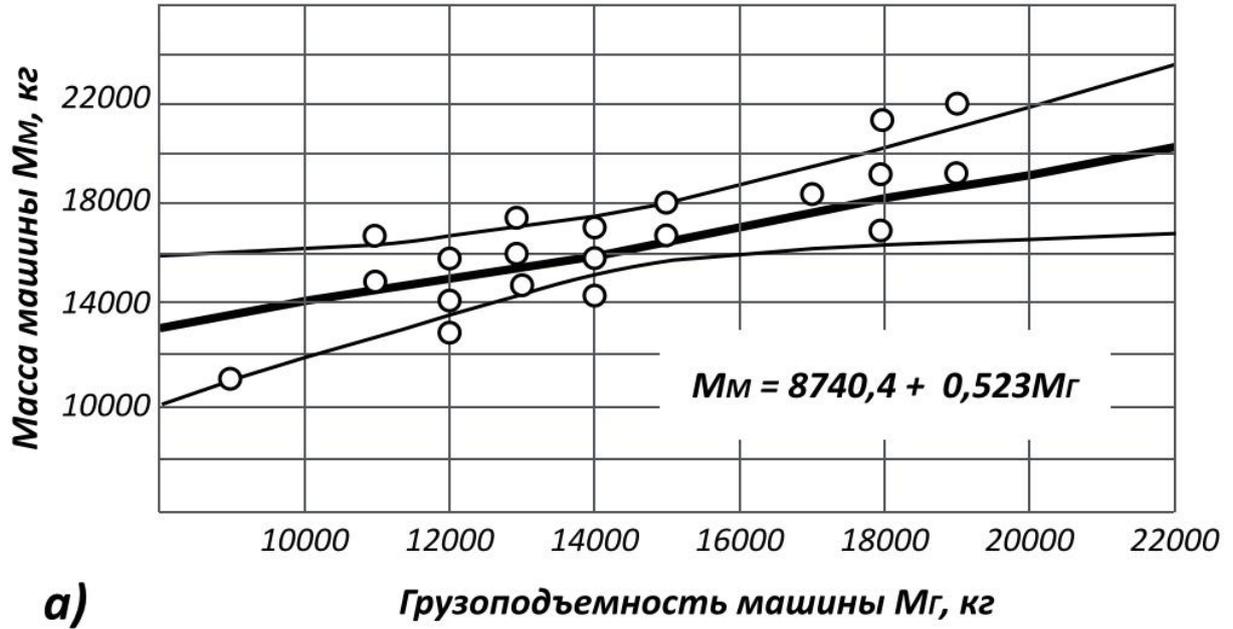


Рис. 2. Изменение массы  $M_m$  (а) и мощности  $N_e$  (б) машины в зависимости от ее грузоподъемности  $M_g$

Наряду с анализом простых линейных уравнений регрессий, где используется одна независимая переменная, проведен анализ множественных линейных регрессий  $MM = f(MГ, Ne)$  и  $Ne = f(MГ, MM)$ . Уравнения множественных регрессий данных зависимостей имеют следующий вид:

$$MM = 826,9 + 0,245 MГ + 76,26 Ne;$$
$$Ne = -1,995 + 0,006 MГ + 0,004 MM.$$

Полученные в результате проведенного анализа уравнения регрессии адекватно отражают соответствующие зависимости. Значения коэффициента детерминации  $R^2$  для первого и второго уравнений соответственно равны 0,742 и 0,865. Точки достаточно тесно ложатся на поверхности отклика.

Уровни значимости  $t$ -критерия для коэффициентов обоих уравнений ( $p$ -level) расположены в диапазоне 0,002–0,037. Уровни значимости – менее 0,05, значит коэффициенты уравнений достоверны на 5%-м уровне значимости.

Уровни значимости  $F$ -критерия, оценивающего достоверность регрессионного уравнения в целом, для первого и второго уравнений соответственно составляют  $p < 0,0038$  и  $p < 0,0011$ . Полученные значимости  $F$ -критерия составляют менее 0,05, что говорит о хорошей и высокой достоверности найденных уравнений анализируемых зависимостей.

### Выводы

1. Проведенный регрессионный анализ позволил установить математические модели, описывающие характер и степень влияния основных действующих факторов. С помощью данных моделей открылась возможность прогнозировать значения главных параметров КФМ (массы и мощности) как на стадии проектирования машин, так и при выборе их для производственной эксплуатации в различных природно-производственных условиях исходя из требований к грузоподъемности.

2. Модели зависимостей  $MM = f(MГ, Ne)$  и  $Ne = f(MГ, MM)$  дают возможность установить также совместное влияние на мощность КФМ грузоподъемности и массы машины, а также грузоподъемности и мощности машины на ее массу. Данный подход позволяет обоснованно подойти к выбору рациональных значений главных параметров колесных форвардерных машин.

### Литература

1. Баловнев В.И. Определение оптимальных параметров и выбор землеройных машин в зависимости от условий эксплуатации: учеб. пособие. – М.: Изд-во МАДИ (ГТУ), 2010. – 134 с.

