

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ЛЕСНЫХ МАШИН ДЛЯ ТРАКТОРНОЙ ТРЕЛЕВКИ

FACTOR ANALYSIS OF FOREST MACHINERY FOR TRACTOR SKIDDING

Четверикова И.В., кандидат технических наук, доцент, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Chetverikova I.V., PhD in Technical Sciences, Docent, Associate Professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Зимарин С.В., кандидат технических наук, доцент, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Zimarin S.V., PhD in Technical Sciences, Docent, Associate Professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация. Тракторная трелевка является энергоемкой операцией лесосечных работ, позволяющей освободить площадь под сельскохозяйственные нужды. К трелевочной технике предъявляются определенные требования в зависимости от условий работы, именно поэтому в данной статье выполнен факторный анализ наиболее часто встречающихся машин для трелевки леса, приведены массо-мощностные характеристики с целью выявления основных факторов, влияющих на показатели работы этих машин. Данные исследования существенно повысят производительность малобюджетных предприятий за счет правильно подобранных машин под определенные требования.

Ключевые слова: лесные машины, трелевка, факторный анализ.

Abstract. Tractor skidding is an energy-intensive logging operation that allows you to free up space for agricultural needs. There are certain requirements for skidding equipment depending on the working conditions, which is why this article performs a multidimensional analysis of the most common machines for skidding forests, provides mass and power characteristics in order to identify the main factors affecting the performance of these machines. These studies will significantly increase the productivity of low-budget enterprises due to properly selected machines for certain requirements.

Keywords: forest machines, skidding, factor analysis.

Транспортировка древесины – ключевой этап лесозаготовки, требующий значительных трудовых и энергетических ресурсов [1]. Одним из неотъемлемых пунктов расчистки территории является вывозка древесины или трелевка [2]. Затраты на трелевку составляют примерно 30 % от общих расходов при заготовке древесины. Для перемещения древесины с делянок используются различные методы трелевки: тракторная, канатная и другие, включая воздушную и гравитационную трелевку.

В настоящее время более 90 % всего объема работ по трелевке леса происходит с помощью тракторов. По способу перемещения различают волочение, полупогруженный и полностью погруженный методы. При волочении лесоматериалы контактируют с землей по всей длине. В полупогруженном состоянии один конец ствола опирается на трактор, другой волочится по земле. В полностью погруженном состоянии древесина перемещается, не касаясь грунта. Наиболее распространена тракторная трелевка, обеспечивающая перемещение до 87 % древесины. 13 % приходится на канатную трелевку.

В связи с возрастающим вниманием к экологии, все чаще применяются методы, минимизирующие контакт древесины с почвой, например, воздушная трелевка. Известно, что трелевка является одной из наиболее трудо- и энергоемкой операцией лесосечных работ. Выбор трактора, машины определенной конструкции с необходимыми техническими параметрами должны обеспечивать легкое маневрирование по лесосеке, свободное прохождение над пнями, движение по грунтам с низкой несущей способностью [3]. В данной работе нами проведен факторный анализ лесных трелевочных машин [4-8] с выбранными характеристиками (см. Табл. 1) в программе STATISTICA.

Таблица 1 – Основные характеристики лесных машин

Машина	Наибольший объем трелеваемого пакета деревьев, м ³	Мощность двигателя, кВт	Емкость топливного бака, л	Масса, кг	Дорожный просвет, мм	Грузовой момент манипулятора (среднее значение), кН·м
ОТЗ-330	10	88,2	140	13700	550	77,5
ЛП-18К	8,3	95,5	200	18100	537	100
ЛТ-187	10	95,5	200	16000	537	70
ВМ-4Б	8	95,5	135	17800	537	52
ЛТ-190	5	55	130	3600	465	50
К-703М-МЛ-56	7	184	320	18000	520	83
МЛ-30	6,5	230	320	16500	520	55
Амкодор 2662	19,8	132	230	17400	540	95

Таблица 2 – Нормализация данных

	Таблица - Трелевочные машины					
	1 Наибольший объем трелевочного пакета, м ³	2 Мощность двигателя, кВт	3 Емкость топливного бака, л	4 Масса, кг	5 Дорожный просвет, мм	6 Грузовой момент манипулятора, кН·м
ОТЗ-330	0,148036588	-0,584622753	-0,898607641	-0,294342	0,914002632	0,241557303
ЛП-18К	-0,224796301	-0,458217834	-0,121433465	0,6066005	0,42402184	1,40103236
ЛТ-187	0,148036588	-0,458217834	-0,121433465	0,1766052	0,42402184	-0,144934382
ВМ-4Б	-0,29059034	-0,458217834	-0,963372156	0,5451726	0,42402184	-1,07251443
ЛТ-190	-0,948530733	-1,1595054	-1,02813667	-2,362415	-2,28971793	-1,17557887
К-703М-МЛ-56	-0,509903804	1,07422537	1,43291489	0,5861246	-0,216722274	0,524984539
МЛ-30	-0,619560536	1,87074952	1,43291489	0,2789851	-0,216722274	-0,917917752
Форвардер Амкодор 2662	2,29730854	0,173806765	0,267153623	0,4632688	0,53709433	1,14337123

В начале работы нами выполнена нормализация данных (см. Табл. 2). Далее рассчитаны собственные значения главных компонент (Табл. 3), определено влияние характеристик машин на главные компоненты (Табл. 4) и построен график каменистой осыпи (Рис. 1).

Таблица 3 – Расчет собственных значений главных компонент

Номер знач-я	Собственные значения матрицы корреляций (Таблица) Только основные переменные			
	Собств. Зн	% общей дисперс.	Кумулятивн Собств. Зн	Кумулятивн %
1	2,974392	49,57319	2,974392	49,5732
2	1,811657	30,19429	4,786049	79,7675
3	0,678924	11,31540	5,464973	91,0829
4	0,433646	7,22744	5,898619	98,3103
5	0,081748	1,36247	5,980368	99,6728
6	0,019632	0,32721	6,000000	100,0000

Таблица 4 – Влияние характеристик машин на главные компоненты

Переменная	Вклад переменных на основе корреляций (Таблица)					
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5	Фактор 6
Наибольший объем трелевочного пакета, м3	0,110788	0,170829	0,226966	0,473887	0,016942	0,000587
Мощность двигателя, кВт	0,115628	0,339035	0,001892	0,056598	0,104263	0,382585
Емкость топливного бака, л	0,129420	0,300583	0,086143	0,005973	0,000722	0,477159
Масса, кг	0,278965	0,000077	0,183996	0,006992	0,511213	0,018757
Дорожный просвет, мм	0,205274	0,092143	0,280762	0,004616	0,349240	0,067963
Грузовой момент манипулятора, кН*м	0,159925	0,097333	0,220241	0,451933	0,017619	0,052949

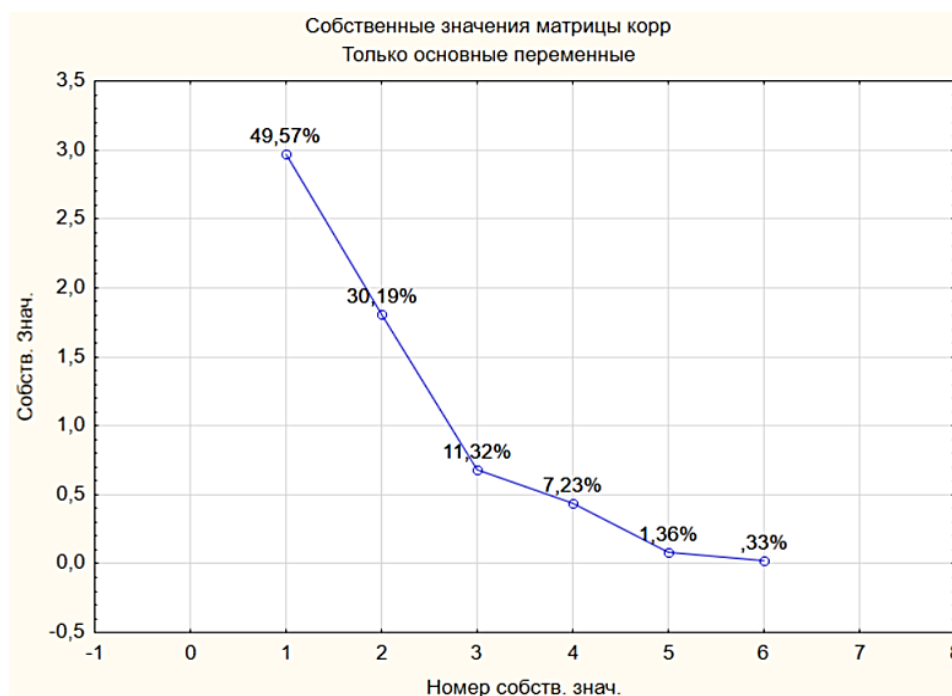


Рисунок 1 – График каменистой осыпи

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что два первых фактора покрывают дисперсию исходных данных на 80 %, первые три – на 91 %, четыре – на

98 %. Для отбора числа факторов используем критерий Кайзера. Основной акцент делаем на факторы 1 и 2, которым соответствуют собственные числа ковариационной матрицы больше 1 (2,97 и 1,81). Согласно этому определяем факторные нагрузки, задав вращение факторов – Варимакс нормализованных (см. Табл. 5) и строим график факторных нагрузок (см. Рис. 2).

Таблица 5 – Факторы – Варимакс нормализованные

Перемен.	Фактор.нагрузки (Варимакс нормализ.) Выделение: Главные компоненты (Отмечены нагрузки > ,700000)			
	Фактор 1	Фактор 2		
Наибольший объем трелевочного пакета, м3	0,791203	-0,114056		
Мощность двигателя, кВт	0,015527	0,978722		
Емкость топливного бака, л	0,069904	0,961567		
Масса, кг	0,730960	0,543680		
Дорожный просвет, мм	0,872536	0,127196		
Грузовой момент манипулятора, кН*м	0,804915	0,064241		
Общ.дис.	2,574639	2,211410		
Доля общ.	0,429106	0,368568		

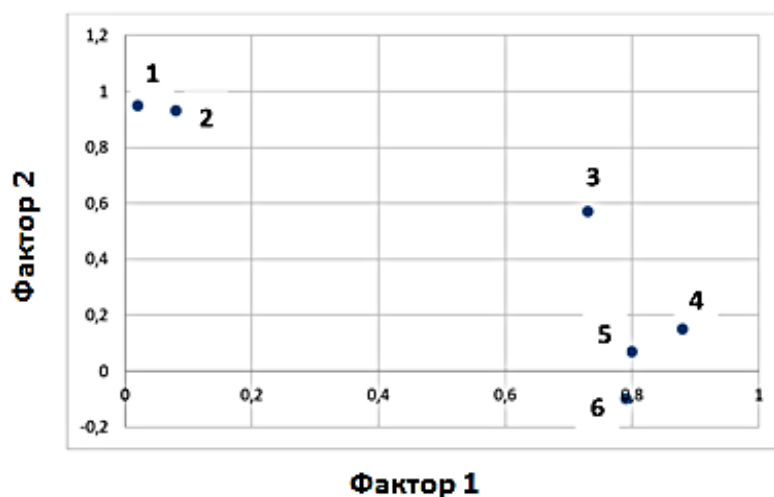


Рисунок 2 – Факторные нагрузки: 1 – мощность двигателя, кВт;

2 – емкость топливного бака, л; 3 – масса, кг; 4 – дорожный просвет, мм;

5 – грузовой момент манипулятора, кН; 6 – наибольший объем трелевочного пакета, кг

Как итог выразим влияние машин на главные компоненты в таблице 6, рисунок 3 и рассмотрим взаимосвязь между основными параметрами машин (Рис. 4).

Таблица 6 – Главные компоненты

Набл.	Вклад наблюдений на основе корреляций (Таблица)					
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5	Фактор 6
ОТЗ-330	0,06637	12,31409	4,51714	0,06205	62,65284	0,76981
ЛП-18К	3,06205	5,05873	0,00209	48,88384	2,21557	7,39769
ЛТ-187	0,02863	1,79050	2,62936	0,42631	0,60604	75,83793
ВМ-4Б	1,44211	1,69912	41,41747	7,26586	23,38568	8,23990
ЛТ-190	70,64312	0,29766	15,95647	0,00961	0,32896	0,25900
К-703М-МЛ-56	6,15868	18,43452	2,34960	12,78065	1,84459	2,23608
МЛ-30	1,89107	48,71632	1,10185	7,80772	6,76862	3,15191
Форвардер Амкодор 2662	16,70799	11,68906	32,02601	22,76396	2,19771	2,10769

Проанализировав полученную табличную и графическую информацию, можно выявить закономерности: на фактор 1 сильно влияют объем трелевочного пакета, грузовой момент манипулятора, масса и дорожный просвет, а на фактор 2 определяющим образом влияют мощность двигателя и емкость топливного бака.

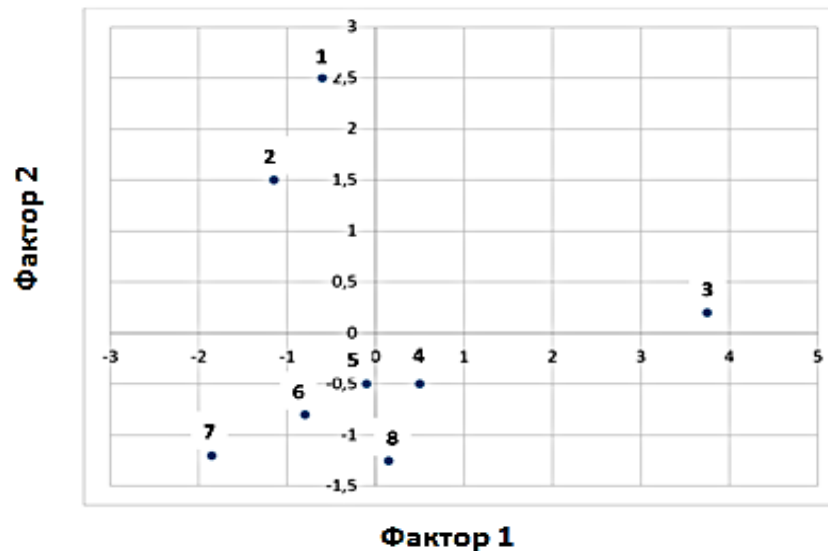


Рисунок 3 – Проекция на факторную плоскость: 1 – МЛ-30; 2 – К-703М; 3 – ЛТ-190; 4 – ВМ-4Б; 5 – ЛТ-18; 6 – ЛП-18К; 7 – Амкадор 2662; 8 – ОТЗ-330

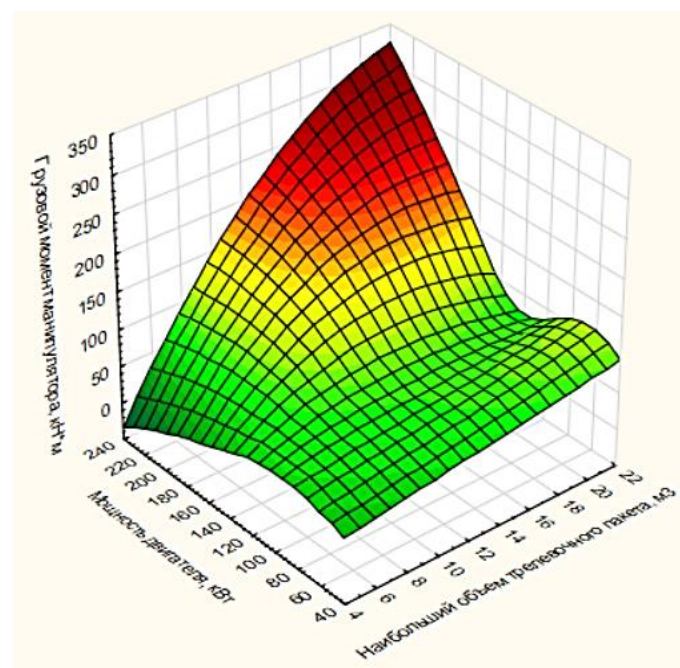


Рисунок 4 – Взаимосвязь характеристик машин

В рассматриваемом блоке трелевочных машин на первую главную компоненту основное влияние оказывают машины ЛТ-190 и Форвардер, на вторую – МЛ-30, МЛ-56, ОТЗ-330. Анализ главных компонент с высоким порядком (5 и 6), а по определению на такие

главные компоненты приходится минимальный процент дисперсии, следовательно, они выражают устойчивые свойства группы, позволяет заключить, что стабильными характеристикам представленных машин являются их масса и мощность. Массу трактора и мощность двигателя выбирают с учетом природно-производственных условий лесозаготовительного района и требований к заготавливаемому древесному сырью [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесозаготовительная техника. – URL: <https://dolina-sdm.ru/information/833/> (дата обращения 15.03.2025).
2. Zimarin, S.V. Comparative studies of energy efficient machines based on cluster analysis / S.V. Zimarin, I.V. Chetverikova, A.I. Uskov // Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования: материалы VIII международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов (на иностранных языках), Воронеж, 01-30 апреля 2022 года. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. – С. 179-184.
3. Типы лесозаготовительных машин. Трелевочная машина. – URL: <https://dolina-sdm.ru/information/1227/?ysclid=m8af1njbat23779736> (дата обращения 15.03.2025).
4. Glushkov, S Reduction of dynamic loads on the hydraulic drive of forest boom lifter / S. Glushkov, P. I. Popikov, I. V. Chetverikova, D. Yu. Druchinin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Voronezh, 23 октября 2020 года. – Voronezh, 2020. – P. 012023. – DOI: 10.1088/1755-1315/595/1/012023.
5. Федченко, В.Б. Импортзамещение лесных машин в РФ / В.Б. Федченко, Э.Ф. Хакимов, М.М. Литвинова // Наука и образование: сохраняя прошлое, создаём будущее: материалы XIX международной научно-практической конференции : в 2 ч., Пенза, 05 февраля 2019 года. Часть 1. – Пенза: «Наука и Просвещение», 2019. – С. 82-85.
6. Евстегнеев, И.А. Новые модели лесозаготовительных машин 2016 года производства Онежского тракторного завода. Гусеничная техника / И.А. Евстегнеев, Е.В. Палкин // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 07 декабря 2017 года. – Красноярск: ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2017. – С. 208-212.
7. Попиков, П.И. Обоснование выбора схемы и моделирование устройства для бесчokerной трелевки леса с энергосберегающим гидроприводом / П.И. Попиков, В.И. Посметьев, А.С. Черных [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2016. – Т. 6, № 4 (24). – С. 216-224. – DOI 10.12737/23460.
8. Chetverikova, I.V. Improving the efficiency of manipulator-type machines with an improved hydraulic drive / I.V. Chetverikova, P.I. Popikov, S. Glushkov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Voronezh, 09-10 сентября 2021 года. – Voronezh, 2021. – P. 12055. – DOI 10.1088/1755-1315/875/1/012055.

REFERENCES

1. Logging equipment. – URL: <https://dolina-sdm.ru/information/833/> (accessed 15.03.2025).
2. Zimarin, S. V. Comparative studies of energy efficient machines based on cluster analysis

/ S.V. Zimarin, I.V. Chetverikova, A.I. Uskov // Actual problems of agricultural science, production and education: materials of the VIII International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and specialists (in foreign languages), Voronezh, April 01-30, 2022. – Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2022. – P. 179-184.

3. Types of logging machines. Skidding machine – URL: <https://dolina-sdm.ru/information/1227/?ysclid=m8af1njbat23779736> (accessed 15.03.2025).

4. Glushkov, S Reduction of dynamic loads on the hydraulic drive of forest boom lifter / S. Glushkov, P. I. Popikov, I. V. Chetverikova, D. Yu. Druchinin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Voronezh, October 23, 2020. – Voronezh, 2020. – P. 012023. – DOI: 10.1088/1755-1315/595/1/012023.

5. Fedchenko, V.B. Import substitution of forest machinery in the Russian Federation / V.B. Fedchenko, E.F. Hakimov, M.M. Litvinova // Science and education: preserving the past, creating the future: materials of the XIX International Scientific and practical conference: at 2 a.m., Penza, February 05, 2019. Part 1. – Penza: «Science and Enlightenment», 2019. – P. 82-85.

6. Evstegneev, I.A. New models of logging machines manufactured in 2016 by the Onega Tractor Plant. Tracked vehicles / I.A. Evstegneev, E.V. Palkin // Forestry and chemical complexes - problems and solutions: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, December 07, 2017. – Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, 2017. – P. 208-212.

7. Popikov, P.I. Substantiation of the choice of a scheme and modeling of a device for shockless skidding of forests with an energy-saving hydraulic drive / P.I. Popikov, V.I. Posmetyev, A.S. Chernykh [et al.] // Forestry Engineering Journal. – 2016, – Vol. 6, No. 4 (24). – P. 216-224. – DOI: 10.12737/23460.

8. Chetverikova, I.V. Improving the efficiency of manipulator-type machines with an improved hydraulic drive / I.V. Chetverikova, P.I. Popikov, S. Glushkov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Voronezh, September 09-10, 2021. – Voronezh, 2021. – P. 12055. – DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012055.