

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАНГОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ФАКТОРОВ ВЫВОЗКИ ДРЕВЕСИНЫ С ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ

А.П. Мохирев¹, К.П. Рукомойников², П.М. Мазуркин²

¹ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 82

²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», 424000, Россия, Республика Марий Эл, Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

ale-mokhirev@yandex.ru

Рассмотрен вопрос моделирования скорости движения лесовозов в различных природных условиях Красноярского края. Результаты получены на основе многократных наблюдений за скоростью лесовозов на различных участках лесных дорог. Представленные результаты основаны на выборе и анализе факторов, которые предположительно могут оказывать какое-либо влияние на скорость движения лесовозов при вывозке лесоматериалов. Проведен анализ добротности каждого из факторов путем рангового распределения полученных закономерностей и составления рейтинга проведенных натурных экспериментов по многофакторному анализу вывозки древесины. Выполнение расчетов и моделирование осуществлялось в программной среде CurveExpert-1.40 и программном комплексе Microsoft Office Excel в среде РАНГ. Проведена оценка адекватности закономерностей ранговых распределений факторов вывозки древесины с лесной территории по коэффициенту корреляции с использованием программной среды CurveExpert-1.40. В результате получены модели суммарного и частного влияния факторов от самих себя (монарное соотношение) по рангам, которые были расставлены до моделирования по каждому фактору в направлении изменения уровня их предпочтительности факторов от лучшего к худшему. При анализе добротности экспериментов, все анализируемые факторы получили коэффициент корреляции выше 0,97, что соответствует уровню адекватности «сильнейшая факторная связь». Это позволило сложить ранги у всех 35 факторов и по сумме рангов выявить рейтинг в системе факторов. В работе представлены математические зависимости ранговых распределений и построенные по ним графики. В результате моделирования получены регрессионные зависимости и доказана добротность значений факторов, использованных авторами в ходе выполнения производственных экспериментов.

Ключевые слова: природно-производственные факторы, ранжирование, закономерности, добротность

Ссылка для цитирования: Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Мазуркин П.М. Закономерности ранговых распределений факторов вывозки древесины с лесных участков // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 4. С. 112–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-112-120

Производительность лесовозного транспорта, или его скорость движения, является одним из основных показателей, характеризующих эффективность технологического процесса при освоении лесных ресурсов [1, 2]. На скорость движения транспорта влияют условия, сложившиеся на дорогах, которые существенно усложняются при неблагоприятных погодных явлениях [3, 4].

Чем выше категория дороги, интенсивность и скорость движения по ней, тем меньшее влияние оказывают природно-климатические факторы на его режим [5].

В связи с этим возникает необходимость разработки математических зависимостей для расчета скорости лесовозного транспорта. На сегодняшний день опубликованы труды многих ученых, посвященные данному вопросу [6–8]. В работах [9–11] приведены зависимости для определения скорости лесовозного автопоезда во всех режимах движения с учетом различных факторов. Полученные результаты характеризуются высокой точностью и приближенностью к реальным значениям. Однако влияние природно-климатических факторов в данных исследованиях отражено частично.

В исследованиях [12, 13] рассматриваются характеристики автомобильных дорог, по которым осуществляется вывозка лесоматериалов. Авторы выявили закономерности в изменении скоростных режимов движущихся транспортных средств на основании практических наблюдений за отдельными участками дороги.

В работах [14, 15] определены зависимости режимов движения на отдельных участках дороги от погодных условий. Установлено, что средняя скорость автомобиля изменяется в течение года в широком диапазоне в зависимости от дорожных условий даже на прямых горизонтальных участках.

При проведении исследований важно оценить добротность измерения всех учетных факторов, влияющих на наиболее значимые природно-производственные процессы [16].

Цель работы

Цель работы — оценить добротность анализируемых факторов, путем рангового распределения полученных закономерностей и составления рейтинга проведенных натурных экспериментов по многофакторному анализу вывозки древесины.

**Фрагмент таблицы значений факторов для проведения
ранжирования среди 162 значений**

Fragment of the table of factor values for ranking among 162 values

Группа факторов	Наименование фактора	Обозначение фактора (код)	Номер эксперимента		
			1	2	...162
Время въезда на участок дороги	номер месяца в году	x_1	6	7	3
	номер суток в месяце	x_2	9	13	30
	номер часа в сутках	x_3	17,5	0,9	2,85
	время движения по участку дороги, мин	x_4	1,4	1,6	1,3
Приведенные координаты центра участка	широта (за 0 взята 57,93099)	x_5	0,77305	0,75343	0,47915
	долгота (за 0 взята 90,70971)	x_6	4,35617	4,5169	1,22367
	высота н. у. м., м	x_7	476	403	82
Параметры водителя	стаж работы водителя, лет	x_8	3	14	3
	возраст водителя, лет	x_9	28	48	28
	время в пути, ч	x_{10}	6	3	15
Параметры лесовоза	колесная формула автолесовоза (0—6×6, 1—6×4)	x_{11}	0	0	1
	грузоподъемность автолесовоза, т	x_{12}	49	56	20
	тип кузова (1 — тягач; 2 — прицеп; 3 — полуприцеп)	x_{13}	2	3	1
	время эксплуатации автолесовоза, лет	x_{14}	3,5	2,17	2,83
	мощность двигателя автолесовоза, л. с.	x_{15}	350	420	300
	пробег автолесовоза, тыс. км	x_{16}	65	42	40
	время, пройденное с капремонта лесовоза, мес.	x_{17}	8	9	9
	нагруженность (масса груза / грузоподъемность)	x_{18}	0,93	0,94	0,9
	тип шин (0 — 425/85r21; 1 — 14.00/r20 xml)	x_{19}	1	0	0
Характеристика дорожного покрытия	тип покрытия (0 — без; 1 — гравийное; 2 — асфальт)	x_{20}	1	1	1
	ширина дороги, м	x_{21}	7	6	8
	время эксплуатации с момента строительства, лет	x_{22}	3,8	1	37,4
	количество капитальных ремонтов дороги с момента ее строительства	x_{23}	0	0	3
Состояние покрытия	влажность покрытия дороги (0 — сухое; 1 — влажное; 2 — сырое; 3 — мокрое; 4 — насыщенное водой)	x_{24}	0	1	0
	вид снежно-ледяного покрытия (0 — без снега; 1 — уплотненный снег; 2 — снежное сухое; 3 — мокрый снег; 4 — снежно-ледяное)	x_{25}	0	0	2
Климатические данные	температура воздуха, °С	x_{26}	23	10,6	-1,8
	атмосферное давление, мм рт. ст.	x_{27}	373	749	756
	относительная влажность воздуха на высоте 2 м, %	x_{28}	44	94	91
	скорость ветра, м/с	x_{29}	1	1	2
	горизонтальная дальность видимости, км	x_{30}	50	9	30
	температура точки росы, °С	x_{31}	10,8	9,6	3,1
	количество осадков, выпавших за 12 ч, мм	x_{32}	0	0	0
	высота снежного покрова (вне дороги), мм	x_{33}	0	0	58
	уклон дороги, ‰	x_{34}	-40	-40	0
скорость движения, км/ч	x_{35}	30,5	37,0	44,0	

Материалы и методы

Нами исследована замена значений факторов на их ранги, идентификация закономерностей и дана оценка добротности измерений по коэффициенту корреляции. Объект исследования — система из 35 факторов, в том числе и скорость лесовоза, характеризующая процесс вывозки древесины.

В ходе исследования все 35 факторов были эвристическим способом учтены при вывозке древесины с верхних складов лесной территории на береговые нижние склады во время лесозаготовительного сезона 2019–2020 гг. по территории Мотыгинского и Енисейского лесничеств Красноярского края.

Выполнено 162 наблюдения, заключающихся в регистрации всех учтенных факторов в различных природно-производственных условиях. При этом кодовые значения некоторых факторов ранжировались.

Измерения проводились в следующих условиях: элементарный участок дороги для одного измерения принимался без поворотов длиной более 300 м с учетом достижения равномерной скорости движения лесовоза с грузом или без него на элементарном участке дороги.

Авторским коллективом была разработана многофакторная модель [17, 18], описывающая зависимость влияния природно-производственных факторов на скорость движения лесовоза. Однако при этом не была учтена значимость каждого измерения из всех проведенных 162 экспериментов по всем 35 факторам.

Таким образом, при оценке добротности вначале предполагались все 35 факторов независимыми один от другого и равнозначными по их вкладу в систему. Однако каждый фактор отличался от других количеством значений (от двух и больше), превращением качественных значений кодовых факторов (например, колесная формула лесовоза, содержащая всего два значения 0 или 1 по рангам), а также различной погрешностью измерений. Все это сказывается на коэффициенте корреляции выявленной закономерности. Чем выше коэффициент корреляции, тем выше добротность проведенных измерений.

Результаты и обсуждение

Рейтинг 162 экспериментов был проведен по сумме рангов всех 35 факторов. Для этого применили метод упорядочения факторов по росту или спаду их значений. Применим следующий способ упорядочения значений параметров по вектору предпорядка предпочтительности «лучше→хуже» по рангам $R = 0, 1, 2, \dots$. При анализе каждого фактора по данному принципу существует всего два варианта принятия решений:

1) чем меньше значение фактора, тем лучше (например, чем меньше пробег лесовоза, тем лучше);

2) чем больше значение фактора, тем лучше (например, чем больше ширина дороги, тем лучше);

Каждый из факторов был упорядочен по одному из этих принципов. При этом 25 факторов (71,43 %) были упорядочены по первому варианту, а 10 факторов (26,57 %) — по второму. В программной среде РАНГ в конце ранжируемого столбца поставим следующие коды: 0 — чем больше значение фактора, тем лучше; 1 — чем меньше значение фактора, тем лучше. Тогда все 35 факторов получают одинаковый вектор «лучше → хуже».

При одинаковой содержательной направленности всех учтенных факторов появляется возможность их последовательного суммирования. Затем выполняется суммирование рангов у всего списка параметров системы. По сумме рангов снова выявляется рейтинг с местами от 1 до 162, причем лучшим будет элемент в виде эксперимента с наименьшей суммой рангов.

Разнонаправленные по содержательному смыслу размерностей факторы также нельзя объединять. При этом ранги применяются также для устранения проблемы с размерностью факторов. Тогда появляется возможность количественного описания всей системы параметров.

Обозначение факторов, распределение их по содержательным группам, а также значения (для части параметров) представлены в табл. 1.

В табл. 2 приведены ранги 162 экспериментов.

В ходе исследования был составлен рейтинг экспериментов по многофакторному анализу вывозки древесины, проведена оценка закономерностей ранговых распределений факторов вывозки древесины.

Т а б л и ц а 2

Фрагмент таблицы рангов
Fragment of the rank table

Номер эксперимента	x_1	x_2	x_3	x_4	...	x_{35}
1	60	31	103	49	...	89
2	86	64	11	71	...	62
3	86	64	2	22	...	149
4	86	151	8	0	...	8
5	86	87	152	10	...	46
...
158	17	143	90	8	...	99
159	17	143	100	71	...	102
160	17	151	5	49	...	74
161	17	151	14	49	...	66
162	17	151	25	36	...	37

В исследовании также использовали моделирование методом идентификации [19]. Для возможности его применения осуществлялось разделение рангов ($R = 0, 1, 2, 3, \dots$) и места оцениваемого фактора в рейтинге ($I = 1, 2, 3$). Для этого в «ранг» была введена позиция 0, что позволило использовать положительную полуось абсцисс при выполнении моделирования.

Выполнение расчетов и моделирование осуществлялось в программной среде CurveExpert-1.40 и программном комплексе Microsoft Office Excel.

С использованием программной среды CurveExpert-1.40 проведена оценка закономерностей ранговых распределений факторов вывозки древесины с лесной территории [20]. В результате получены модели суммарного и частного влияния факторов от самих себя (монарное соотношение). Полученная зависимость для суммарного влияния факторов имеет вид:

$$x_{\text{sum}} = 4,19715 \cdot 10^{-6} \exp(0,55112R_{\text{sum}}^{0,68710}) + 1352,62008R_{\text{sum}}^{0,067645} \exp(4,2113 \cdot 10^{-3} R_{\text{sum}}^{0,89477}).$$

Аналогичные результаты получены для каждого из исследуемых факторов представлены в табл. 3.

Полученные зависимости можно выразить в графическом виде. На рис. 1 представлены примеры графических моделей суммарного ранга (a) и первых трех факторов x_1 (b), x_2 ($в$), x_3 ($г$).

Т а б л и ц а 3

Зависимости для суммарного влияния факторов
Dependencies for the total influence of factors

Обозначение фактора (код)	Расчет
x_1	$x_1 = 0,94002 \exp(4,11345 \cdot 10^{-4} R_1^{1,68129}) + 0,12980 R_1^{0,97334} \exp(-2,34692 \cdot 10^{-4} R_1^{1,79574})$
x_2	$x_2 = 2,21908 \exp(-0,0030641 R_2) + 0,37494 R_2^{0,87352}$
x_3	$x_3 = 7,83730 \cdot 10^6 R_3^{4,76644} \exp(-20,77350 R_3^{0,11324})$
x_4	$x_4 = 0,93068 \exp(0,0023934 R_4^{0,73608}) + 8,45859 \cdot 10^{-23} R_4^{10,09648}$
x_5	$x_5 = 1,13014 \cdot 10^{-8} \exp(1,34163 R_5^{0,059295}) + 6,7154 R_5^{6,49238} \exp(-11,51943 R_5^{0,23196})$
x_6	$x_6 = 0,0012426 R_6^{1,17713} + 1,59705 \cdot 10^7 R_6^{6,91031} \exp(-124,68006 R_6^{0,21410})$
x_7	$x_7 = 70,97239 \exp(-0,024729 R_7) + 8,7524 R_7^{0,53226} \exp(0,12047 R_7^{0,48630})$
x_8	$x_8 = 30,69782 \exp(-0,013509 R_8^{1,01485})$

Окончание табл. 3

Обозначение фактора (код)	Расчет
x_9	$x_9 = 24,92205 \exp(-5,28659 \cdot 10^{-4} R_9) + 0,15646 R_9^{1,07946} \exp(-3,66707 \cdot 10^{-5} R_9)$
x_{10}	$x_{10} = 0,21869 \exp(0,031089 R_{10})$
x_{11}	$x_{11} = -5,55112 \cdot 10^{-17} + 0,011905 R_{11}$
x_{12}	$x_{12} = 55,99992 \exp(0,011345 R_{12}) - 0,050212 R_{12}^{1,72602}$
x_{13}	$x_{13} = 3 - 1,23030 \cdot 10^{-5} R_{13}^{2,47695}$
x_{14}	$x_{14} = 2,08845 \exp(1,20974 \cdot 10^{-3} R_{14}^{1,24461}) + 4,90578 \cdot 10^{-32} R_{14}^{14,39309}$
x_{15}	$x_{15} = 420 - 6,00374 \cdot 10^{-3} R_{15}^{2,23499}$
x_{16}	$x_{16} = 12,13581 \exp(0,039072 R_{16}) - 8,33921 \cdot 10^{-3} R_{16}^{2,00631} \exp(5,38182 \cdot 10^{-3} R_{16}^{1,26534})$
x_{17}	$x_{17} = 6,86452 + 1,03984 R_{17}^{0,22949}$
x_{18}	$x_{18} = 0,54291 R_{18}^{0,11472}$
x_{19}	$x_{19} = -1,11022 \cdot 10^{-16} + 0,010417 R_{19}$
x_{20}	$x_{20} = 2 - 0,47201 R_{20}^{0,30213}$
x_{21}	$x_{21} = 7,98453 + 0,038345 R_{21}^{0,89299}$
x_{22}	$x_{22} = 0,1 + 4,01109 \cdot 10^{-9} R_{22}^{5,10353} \exp(-8,53002 \cdot 10^{-4} R_{22}^{1,60353})$
x_{23}	$x_{23} = 9,99959 \cdot 10^{-8} R_{23}^{4,18419} \exp(-0,025081 R_{23})$
x_{24}	$x_{24} = 1,14531 \cdot 10^{-10} R_{24}^{6,04589} \exp(-0,039974 R_{24})$
x_{25}	$x_{25} = 7,99385 \cdot 10^{-7} R_{25}^{3,04242}$
x_{26}	$x_{26} = 25,79279 \exp(-0,01650 R_{26}^{0,89270}) - 1,21572 \cdot 10^{-8} R_{26}^{4,23945}$
x_{27}	$x_{27} = 736,86921 \exp(7,39054 \cdot 10^{-6} R_{27}^{1,67783})$
x_{28}	$x_{28} = 31,75546 \exp(-3,73682 \cdot 10^{-3} R_{28}^{1,66973}) + 3,13292 R_{28}^{1,47625} \exp(-0,61431 R_{28}^{0,37295})$
x_{29}	$x_{29} = 0,093778 R_{29}^{1,13273} - 0,018981 R_{29}^{1,55577} \exp(-4,92992 \cdot 10^{-3} R_{29})$
x_{30}	$x_{30} = 50,14946 - 0,065039 R_{30}^{1,32276}$
x_{31}	$x_{31} = 18,36561 \exp(-0,10773 R_{31}^{0,28124}) - 8,35519 \cdot 10^{-6} R_{31}^{3,15832} \exp(-0,015637 R_{31}^{0,77349})$
x_{32}	$x_{32} = 4,12529 \cdot 10^{-10} R_{32}^{4,61341}$
x_{33}	$x_{33} = 2,11647 R_{33}^{0,70765}$
x_{34}	$x_{34} = -122,57566 \exp(0,029719 R_{34}^{0,88284}) + 23,67661 R_{34}^{0,58306} \exp(1,17325 \cdot 10^{-3} R_{34}^{1,39039})$
x_{35}	$x_{35} = 67,2233 \exp(0,027631 R_{35}^{1,00885}) - 5,10608 R_{35}^{0,78324} \exp(6,88767 \cdot 10^{-3} R_{35}^{1,21162})$

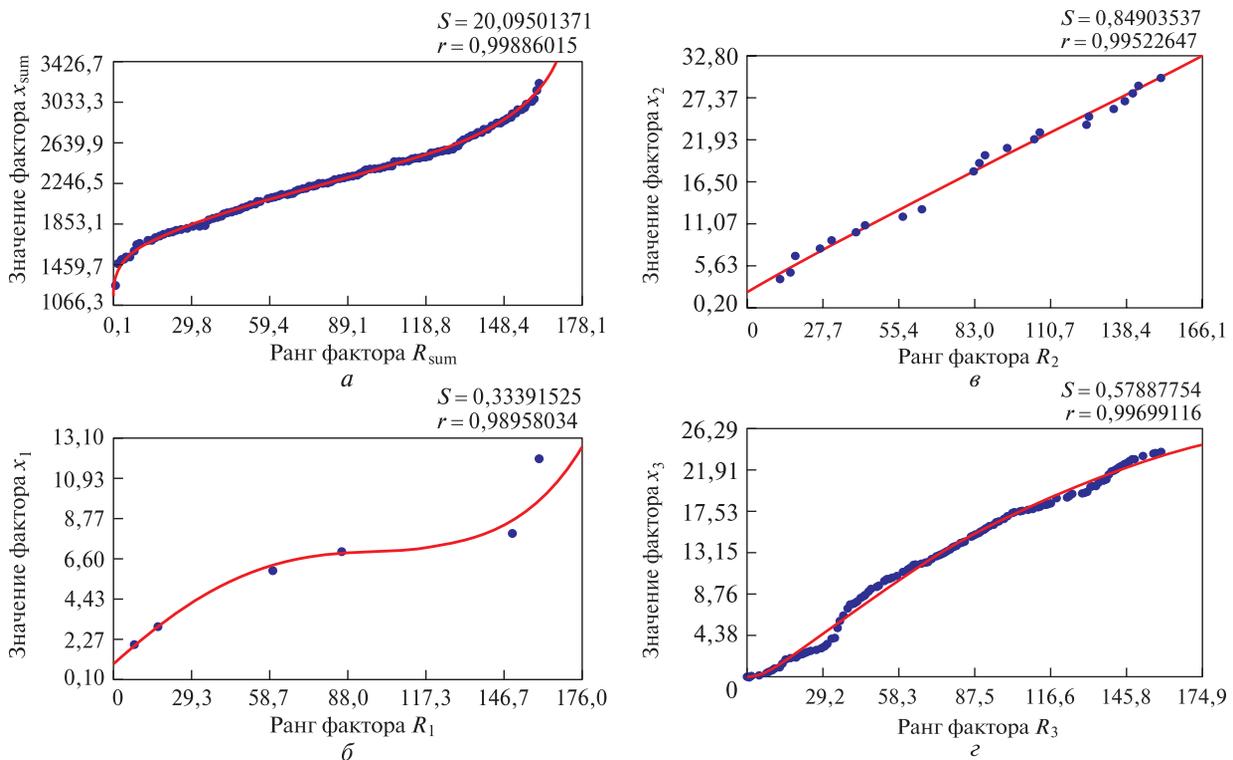


Рис. 1. Графические зависимости моделей: *a* — по сумме рангов исследуемых факторов; *б* — первого фактора (x_1); *в* — второго фактора (x_2); *з* — третьего фактора (x_3); S — стандартное отклонение; r — коэффициент корреляции

Fig. 1. Graphical dependencies of models: *a* — by the sum of the ranks of the studied factors; *б* — by the first factor (x_1); *в* — by the second factor (x_2); *з* — by the third factor (x_3); S — standard deviation; r — correlation coefficient

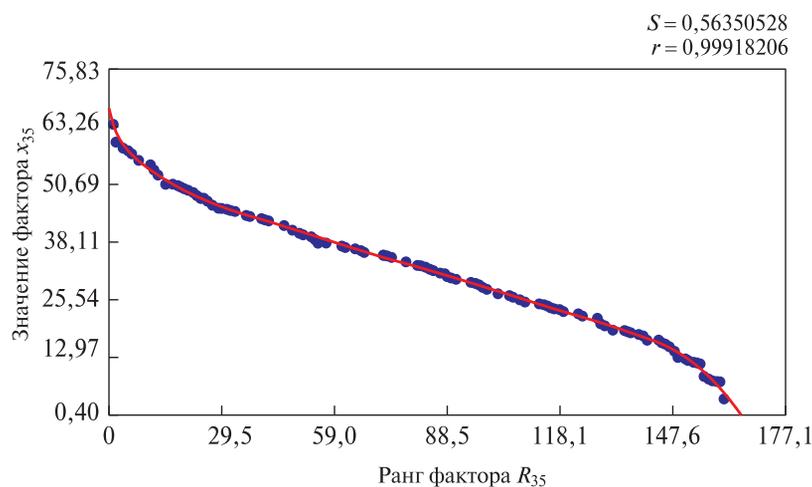


Рис. 2. График рангового распределения скорости движения лесовоза

Fig. 2. Graph of the rank distribution of the speed of movement of the timber carrier

В данном случае (и далее) под R_i понимается ранг, принятый по методике ранжирования для x_i в каждом из экспериментов.

При этом повторы значений фактора на графиках размещаются в одной точке.

Отдельно можно рассмотреть графическую зависимость рангового распределения значений скорости движения автолесовоза по предыдущему уравнению, представленную на рис. 2.

При этом ранжирование значений скорости движения происходит по вектору предпочтительности «лучше → хуже». Тогда получается, что чем больше скорость движения лесовоза, тем лучше для всей системы вывозки лесоматериалов. Значение высокой корреляции модели рангового распределения, составившее $r = 0,99918$ (см. рис. 2), указывает на добротность полученных значений, что говорит о качествен-

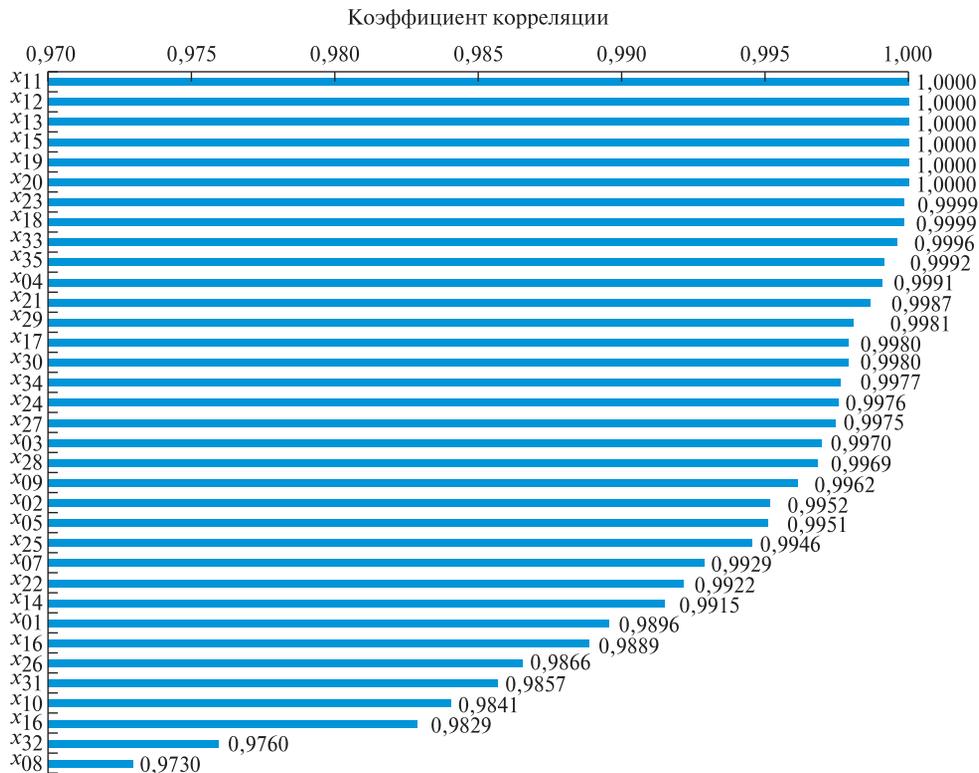


Рис. 3. Рейтинг добротности измерений факторов по убыванию коэффициента корреляции
Fig. 3. Rating of Q -factor measurements in descending order of correlation coefficient

ной исходной информации по экспериментам и о продуманности методики их проведения.

В ходе исследования получены значения коэффициентов корреляции для всех исследуемых факторов. На основе полученных данных выполнено ранжирование значений исследуемых факторов по убыванию коэффициента корреляции. Полученные данные свидетельствуют о добротности анализируемых факторов. Данный факт обусловлен высокими значениями коэффициентов корреляции у всех факторов ($r > 0,973$).

Рейтинг добротности по убыванию коэффициента корреляции представлен на рис. 3.

Выводы

Установлено, что все отобранные и анализируемые факторы отличаются признаками высокой добротности, что обусловлено большими значениями коэффициентов корреляции выявленных закономерностей ранговых распределений.

Список литературы

- [1] Pozdnyakova M., Ryabova T., Mokhirev A. Comprehensive evaluation of technological measures for increasing availability of wood resources // J. of Applied Engineering Science, 2018, no. 16 (4), pp. 565–569. DOI: 10.5937/jaes16-18842
- [2] Henningsson M., Karlsson J., Rönnqvist M. Optimization models for forest road upgrade planning // J. of Mathematical Models and Algorithms, 2007, № 6 (1), pp. 3–23.
- [3] Sun X., He Y., Wang S., Wang Y. Characteristics of operating speed for proper speed limit // ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable – Proceedings of the 10th International Conference of Chinese Transportation Professionals. Beijing, 2010, pp. 678–1689.
- [4] Мельник М.А., Волкова Е.С. Сезонная дифференциация опасных и неблагоприятных природных явлений для сферы лесопользования Томской области // Вестник СГУГиТ, 2019. Т. 24. № 2. С. 229–237. DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-2-229-237
- [5] Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Герасимова М.М., Медведев С.О., Царев Е.М., Анисимов С.Е. Анализ влияния природно-климатических факторов на скорость движения автолесовозов // Успехи современного естествознания, 2020. № 10. С. 108–115. DOI: 10.17513/use.37498
- [6] Козлов В.Г. Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния климата и погоды на условия движения: дис. ... д-ра техн. наук: специальность 05.21.01.–Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства, Архангельск, 2017. 406 с.
- [7] Бельский А.Е. Построение эпюр скоростей движения расчетных автомобилей при проектировании автомобильных дорог. Фрунзе: Изд-во ГНТК Киргизской ССР, 1960. 44 с.
- [8] Хавкин К.А. Исследование влияния вертикальных кривых на скорость движения автомобиля в связи с проектированием элементов продольного профиля автомобильных дорог: Труды Киевского автомобильно-дорожного института. Сб. № 3. Киев: Гостехиздат, 1957. 16 с.

- [9] Скрыпник В.И., Кузнецов А.В., Баклагин В.Н. Анализ и расчет параметров движения лесовозных автопоездов: Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ, № 8, 2010. С. 140–143.
- [10] Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Дорохин С.В. Влияние условий движения на скоростные режимы транспортных потоков при вывозке древесины // Современные наукоемкие технологии, 2014. № 4. С. 153.
- [11] Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Пладов А.В. Моделирование движения лесовозных автопоездов на ПВЭМ. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2003. 234 с.
- [12] Коваленко Т.В., Коточигов М.В. Использование климатической информации для организации транспортного освоения лесных массивов // Технология и оборудование лесопромышленного комплекса: Сб. науч. тр. Вып. 6. СПб: Изд-во СПбГЛТУ, 2013. С. 104–108.
- [13] Сивков Е.Н., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В. Условия движения по лесовозным дорогам // Изучение лесосырьевой базы Республики Коми: научно-методический аспект: Сб. материалов науч.-практ. конф. по научной теме института «Разработка научных основ и практических рекомендаций по переводу лесосырьевой базы Республики Коми на инновационную интенсивную модель расширенного воспроизводства на 2015–2020 годы» / под ред. Е.В. Хохловой. Сыктывкар, 29–30 ноября 2016 г. Сыктывкар: Изд-во Сыктывкарского лесного института, 2017. С. 19–23.
- [14] Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Чернышова Е.В., Микова Е.Ю., Являнская И.В., Могутнов Р.В. Оценка влияния отдельных метеорологических факторов на обеспеченность расчетной скорости // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2018. № 5–2. С. 294–300.
- [15] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Samcov V.V., Levushkin D.M., Nikitin A.A., Zaikin A.N. Mathematical models to determine the influence of road parameters and conditions on vehicular speed // J. of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference «Information Technologies in Business and Industry» / Information Technologies in Business and Industry, 18–20 February 2019. Novosibirsk: IOP Publishing Ltd, 2019, p. 032041.
- [16] Zverev G.I., Menshikh V.V. Optimizing the selection of combination of alternative functions of ergatic system multifunctional elements // J. of Physics: Conference Series, 2020, p. 012062.
- [17] Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Мазуркин П.М. Многофакторное влияние природно-производственных условий на скорость движения автолесовозов // Системы. Методы. Технологии, 2020. № 4 (48). С. 88–96. DOI: 10.18324/2077-5415-2020-4-88-96.
- [18] Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Мазуркин П.М. Анализ факторов, влияющих на скорость автолесовозов // Успехи современного естествознания, 2020. № 11. С. 20–25.
- [19] Mazurkin P.M. Method of identification // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM), 2014, book 6, v. 1, pp. 427–434. DOI: 10.5593/SGEM2014/B61/S25.059
- [20] Mazurkin P.M., Kudrjashova A.I. Factor analysis of annual global carbon dynamics (according to Global_Carbon_Budget_2017v1.3.xlsx) // Materials of the International Conference «Research transfer» – Reports in English (Part 2). Beijing: PRC, 2018, pp. 192–224.

Сведения об авторах

Мохирев Александр Петрович — канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильных дорог и городских сооружений инженерно-строительного института ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», ale-mokhirev@yandex.ru

Рукомойников Константин Павлович — д-р техн. наук, профессор кафедры лесопромышленных и химических технологий института леса и природопользования ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», rukomojnikovkp@volgategh.net

Мазуркин Петр Матвеевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой природообустройства Института строительства и архитектуры ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», kaf_po@mail.ru

Поступила в редакцию 18.01.2021.

Принята к публикации 25.03.2021.

RANK DISTRIBUTION OF WOOD REMOVAL FROM FOREST LAND

A.P. Mokhirev¹, K.P. Rukomojnikov², P.M. Mazurkin²

¹Siberian Federal University, 82, Svobodny pr., Krasnoyarsk 660041, Russia

²Volga State University of Technology, 3, Lenin sq., 424000, Yoshkar-Ola, Republic Of Mari El, Russia

ale-mokhirev@yandex.ru

The article is devoted to the problem of modeling the speed of movement of timber trucks in various natural conditions of the Krasnoyarsk Territory. The results were obtained on the basis of multiple observations of the speed of timber trucks on various sections of forest roads. The results presented in the article are based on the selection and analysis of factors that can presumably have any effect on the speed of movement of timber trucks when hauling timber. The article presents the results of creating a multifactorial dependence for calculating the speed of timber transport. The analysis of the quality factor of each of the factors is carried out by the rank distribution of the obtained regularities and by compiling a rating of the conducted field experiments on the multivariate analysis of timber removal. The calculations and modeling were carried out in the CurveExpert-1.40 software environment and the Microsoft Office Excel software package in the RANK environment. Using the CurveExpert-1.40 software environment, the adequacy of the regularities of the rank distributions of the factors of timber removal from the forest area was assessed by the correlation coefficient. As a result, we obtained models of the total and private influence of factors from themselves (monar ratio) by ranks, which were placed before modeling for each factor in the direction of changing the level of their preference for factors from worse to better. When analyzing the quality factor of experiments, all analyzed factors received a correlation coefficient above 0,97, which corresponds to the level of adequacy of the «strongest factor relationship». This made it possible to add up the ranks of all 35 factors and, by the sum of the ranks, reveal the rating in the system of factors. The paper presents the mathematical dependences of rank distributions and graphs constructed from them. As a result of modeling, regression dependences were obtained and the quality factor of the values of the factors used by the authors in the course of production experiments was proved.

Keywords: natural and production factors, ranking, regularities, quality factor

Suggested citation: Mokhirev A.P., Rukomojnikov K.P., Mazurkin P.M. *Zakonovernosti rangovykh raspredeleniy faktorov vyvozki drevesiny s lesnykh uchastkov* [Rank distribution of wood removal from forest land]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 112–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-4-112-120

References

- [1] Pozdnyakova M., Ryabova T., Mokhirev A. Comprehensive evaluation of technological measures for increasing availability of wood resources. *J. of Applied Engineering Science*, 2018, no. 16 (4), pp. 565–569. DOI: 10.5937/jaes16-18842
- [2] Henningsson M., Karlsson J., Rönnqvist M. Optimization models for forest road upgrade planning. *J. of Mathematical Models and Algorithms*, 2007, № 6 (1), pp. 3–23.
- [3] Sun X., He Y., Wang S., Wang Y. Characteristics of operating speed for proper speed limit. *ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable – Proceedings of the 10th International Conference of Chinese Transportation Professionals*. Beijing, 2010, pp. 678–1689.
- [4] Mel'nik M.A., Volkova E.S. *Sezonnaya differentsiatsiya opasnykh i neblagopriyatnykh prirodnykh yavleniy dlya sfery lesopol'zovaniya Tomskoy oblasti* [Seasonal differentiation of dangerous and unfavorable natural phenomena for the forest management of the Tomsk region]. *Vestnik SGUGiT [Bulletin of SGUGiT]*, 2019, v. 24, no. 2, pp. 229–237. DOI: 10.33764 / 2411-1759-2019-24-2-229-237
- [5] Mokhirev A.P., Rukomojnikov K.P., Gerasimova M.M., Medvedev S.O., Tsarev E.M., Anisimov S.E. *Analiz vliyaniya prirodno-klimaticheskikh faktorov na skorost' dvizheniya avtolesovozov* [Analysis of the influence of natural and climatic factors on the speed of timber trucks]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Success of modern natural science]*, 2020, no. 10, pp. 108–115. DOI: 10.17513 / use.37498
- [6] Kozlov V.G. *Metody, modeli i algoritmy proektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog s uchetom vliyaniya klimata i pogody na usloviya dvizheniya* [Methods, models and algorithms for the design of logging highways taking into account the influence of climate and weather on traffic conditions]. *Dis. Dr. Sci. (Tech.) 05.21.01. Arkhangel'sk*, 2017, 406 p.
- [7] Bel'skiy A.E. *Postroenie epyur skorostey dvizheniya raschetnykh avtomobiley pri proektirovanii avtomobil'nykh dorog* [Construction of speed diagrams for design vehicles in the design of highways]. *Frunze: State Scientific and Technical Committee of the Kirghiz SSR*, 1960, 44 p.
- [8] Khavkin K.A. *Issledovanie vliyaniya vertikal'nykh krivykh na skorost' dvizheniya avtomobilya v svyazi s proektirovaniem elementov prodol'nogo profilya avtomobil'nykh dorog* [Investigation of the influence of vertical curves on the vehicle speed in connection with the design of the elements of the longitudinal profile of highways]. *Trudy Kievskogo avtomobil'no-dorozhnogo instituta [Proceedings of the Kiev Automobile and Road Institute]*. Sat. no. 3. Kiev: Gostekhizdat, 1957, 16 p.
- [9] Skrypnik V.I., Kuznetsov A.V., Baklagin V.N. *Analiz i raschet parametrov dvizheniya lesovoznykh avtopoezdov* [Analysis and calculation of the parameters of the movement of timber road trains]. *Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU [Proceedings of the forest engineering faculty of PetrSU]*, 2010, no. 8, pp. 140–143.
- [10] Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Dorokhin S.V. *Vliyaniye usloviy dvizheniya na skorostnyye rezhimy transportnykh potokov pri vyvozke drevesiny* [Influence of traffic conditions on high-speed modes of traffic flows during wood transportation]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii [Modern high technologies]*, 2014, no. 4, p. 153.
- [11] Shegel'man I.R., Skrypnik V.I., Pladov A.V. *Modelirovaniye dvizheniya lesovoznykh avtopoezdov na PVEM* [Simulation of the movement of timber trucks on PVEM]. *Petrozavodsk: PetrSU*, 2003, 234 p.

- [12] Kovalenko T.V., Kotochigov M.V. *Ispol'zovanie klimaticheskoy informatsii dlya organizatsii transportnogo osvoeniya lesnykh massivov* [The use of climatic information for the organization of transport development of forest areas]. *Tekhnologiya i oborudovanie lesopromyshlennogo kompleksa* [Technology and equipment of the timber industry complex]. Coll. scientific. tr. Iss. 6. St. Petersburg: SPbGLTU, 2013, pp. 104–108.
- [13] Sivkov E.N., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V. *Usloviya dvizheniya po lesovoznym dorogam* [Traffic conditions on timber roads]. *Izuchenie lesosyr'evoy bazy Respubliki Komi: nauchno-metodicheskiy aspekt: Sb. materialov nauchno-prakticheskoy konferentsii po nauchnoy teme instituta «Razrabotka nauchnykh osnov i prakticheskikh rekomendatsiy po perevodu lesosyr'evoy bazy Respubliki Komi na innovatsionnyuyu intensivnyuyu model' rasshirennoogo vosproizvodstva na 2015–2020 gody»* [Study of the timber resource base of the Komi Republic: scientific and methodological aspect: Sat. materials of the scientific-practical conference on the scientific theme of the Institute «Development of scientific foundations and practical recommendations for the transfer of the forest resource base of the Komi Republic to an innovative intensive model of expanded reproduction for 2015–2020»]. Ed. E.V. Khokhlova. Syktyvkar, November 29–30, 2016. Syktyvkar: Syktyvkar Forestry Institute, 2017, pp. 19–23.
- [14] Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V., Mikova E.Yu., Yavlyanskaya I.V., Mogutnov R.V. *Otsenka vliyaniya otdel'nykh meteorologicheskikh faktorov na obespechennost' raschetnoy skorosti* [Assessment of the influence of certain meteorological factors on the provision of the design speed]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International J. of Applied and Fundamental Research], 2018, no. 5–2, pp. 294–300.
- [15] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Samcov V.V., Levushkin D.M., Nikitin A.A., Zaikin A.N. *Mathematical models to determine the influence of road parameters and conditions on vehicular speed*. J. of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference «Information Technologies in Business and Industry». Information Technologies in Business and Industry, 18–20 February 2019. Novosibirsk: IOP Publishing Ltd, 2019, p. 032041.
- [16] Zverev G.I., Menshikh V.V. *Optimizing the selection of combination of alternative functions of ergatic system multifunctional elements*. J. of Physics: Conference Series, 2020, p. 012062.
- [17] Mokhirev A.P., Rukomojnikov K.P., Mazurkin P.M. *Mnogofaktornoe vliyanie prirodno-proizvodstvennykh usloviy na skorost' dvizheniya avtolesovozov* [The multifactorial influence of natural production conditions on the speed of movement of timber trucks]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2020, no. 4 (48), pp. 88–96. DOI: 10.18324 / 2077-5415-2020-4-88-96.
- [18] Mokhirev A.P., Rukomojnikov K.P., Mazurkin P.M. *Analiz faktorov, vliyayushchikh na skorost' avtolesovozov* [Analysis of factors affecting the speed of timber trucks]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Success of modern natural science], 2020, no. 11, pp. 20–25.
- [19] Mazurkin P.M. *Method of identification*. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM), 2014, book 6, v. 1, pp. 427–434. DOI: 10.5593/SGEM2014/B61/S25.059
- [20] Mazurkin P.M., Kudrjashova A.I. *Factor analysis of annual global carbon dynamics (according to Global_Carbon_Budget_2017v1.3.xlsx)*. Materials of the International Conference «Research transfer» – Reports in English (Part 2). Beijing: PRC, 2018, pp. 192–224.

Authors' information

Mokhirev Aleksandr Petrovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Highways and Urban Structures of the Siberian Federal University, ale-mokhirev@yandex.ru

Rukomojnikov Konstantin Pavlovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Forestry and chemical technologies of the Institute of forest and nature management, Volga State University of Technology, rukomojnikovkp@volgatech.net

Mazurkin Pyotr Matveyevich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Department of Environmental management at the Institute of construction and architecture of the Volga State University of Technology, kaf_po@mail.ru

Received 18.01.2021.

Accepted for publication 25.03.2021.