

DOI: 10.15393/j2.art.2021.5803

УДК 630*338.2; 502:911.2; 504.54:911.52; 574.476; 519.876

Статья

Рейтинги групп факторов вывозки сортиментов

Мазуркин Пётр Матвеевич

доктор технических наук, профессор, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация), kaf_po@mail.ru

Мохирев Александр Петрович

кандидат технических наук, доцент, Сибирский федеральный университет (Российская Федерация), ale-mokhirev@yandex.ru

Рукомойников Константин Павлович

доктор технических наук, профессор, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация), rukotojnikovkr@volgatech.net

Получена: 16 июня 2021 / Принята: 10 сентября 2021 / Опубликовано: 22 сентября 2021

Аннотация: Организация вывозки древесины с лесосек является значимым процессом при лесозаготовках. На движение автолесовоза и параметры вывозки влияют множество природно-производственных условий. Методом идентификации проведён факторный анализ восьми групп из всех 35 параметров по 162 экспериментам по трём видам информации: А — переменные факторы, изменяющиеся в ходе экспериментов (I — время въезда на измеряемый участок дороги; II — приведённые координаты всех опытных участков; VI — метеорологические данные на время проведения измерений); В — условно-постоянная информация (V — параметры состояния дорожного покрытия); С — постоянная информация для интервала проведения экспериментов (III — параметры водителя; IV — параметры сортиментовоза). Объединением кластеров были сформированы дополнительно группы: VII — параметры системы климатической геоморфологии (II + VI); VIII — параметры технической системы (IV + V). В обоих рейтингах (переменные и показатели) на первом месте группа II — приведённые координаты центра участка. Геоморфология лесотранспортной сети становится главенствующей. На втором месте в обоих рейтингах занимает группа VII — параметры системы климатической геоморфологии (II + VI). Группа II — приведённые координаты центра участка — получает значение коэффициента коррелятивной вариации 0.7804 и находится на первом месте. Второе место занимает группа III — параметры водителя. В обоих рейтингах эта

группа занимает седьмое место, а внутри третьей группы параметры водителя получают максимальный коэффициент коррелятивной вариации 0.7128. На третьем месте группа II — координаты центра участка на группу VII — параметры системы климатической геоморфологии (II + VI) с коэффициентом коррелятивной вариации 0.5549.

Ключевые слова: вывозка сортиментов; группы факторов; парные отношения; факторный анализ; закономерности; метод идентификации

DOI: 10.15393/j2.art.2021.5803

Article

Ratings of groups of factors for assortment hauling

Pyotr Mazurkin

*D. Sc. in engineering, Volga State University of Technology (Russian Federation),
kaf_po@mail.ru*

Aleksandr Mokhirev

*Ph. D. in engineering, Siberian Federal University (Russian Federation),
ale-mokhirev@yandex.ru*

Konstantin Rukomojnikov

*D. Sc. in engineering, Volga State University of Technology (Russian Federation),
rukomojnikovkp@volgatech.net*

Received: 16 June 2021 / Accepted: 10 September 2021 / Published: 22 September 2021

Abstract: Management of wood hauling from cutting areas is a significant process in logging. Logging truck movement and hauling parameters are influenced by a variety of natural and industrial conditions. Using the identification method a factor analysis of eight groups out of all 35 parameters was carried out for 162 experiments. In the course of the analysis the authors used three types of information: A — variable factors that change during the experiments (I — time of entry to the measured road section; II — reduced coordinates of all experimental sections; VI — meteorological data at the time of the measurements); B — relatively constant information (V — parameters of the road surface condition); C — constant information for the interval of experiments (III — parameters of the driver; IV — parameters of the sorting truck). By combining the clusters, additional groups were formed: VII — parameters of the climate geomorphology system (II + VI); VIII — parameters of the technical system (IV + V). Group II, i.e. the reduced coordinates of the site center, ranked first in both ratings (variables and indicators). The geomorphology of the forest transport network held the dominant place. Group VII, i.e. parameters of the climatic geomorphology system (II + VI), ranked second in both ratings. Group II, i.e. the reduced coordinates of the site center got the value of the correlation variation coefficient 0.7804 and ranked first. Group III, i.e. driver's parameters, ranked second. In both ratings, this group ranked seventh, and within the third group, the driver's parameters received a maximum coefficient of correlative variation of 0.7128. Group II, i.e. coordinates of the site center for group VII —

parameters of the climatic geomorphology system (II + VI) with a coefficient of correlative variation of 0.5549, ranked third.

Keywords: assortment hauling; groups of factors; pair relations; factor analysis; regularities; identification method

1. Введение

Сложной считается эргатическая система, включающая человека. Поэтому система «водитель — сортиментовоз — автомобильная дорога» является эргатической, в которой главным элементом выступает водитель со своими психическими и физиологическими параметрами. На поведение этой системы влияют различные природные условия окружающей среды (режим движения, метеорологические параметры, состояние дороги и пр.). При этом наиболее непредсказуемыми являются переменные параметры погоды. Остальные подсистемы имеют менее изменчивые показатели. Условно постоянными на период экспериментов являются геоморфологические параметры [1], [2].

Геоморфическая классификация — это категоризация и описание природы, происхождения и освоения форм рельефа. Фундаментальная основа этой классификации состоит в том, что геоморфическая единица может быть классифицирована в совокупности на основе её происхождения и развития (процесс), её общей структуры и формы (рельефа), размеров и характеристики (морфометрия), а также наличия и состояния наложения (геоморфологическая генерация). Первым типом геоморфических процессов считаются речные сети [4].

Речная геоморфология влияет на перенос наносов, и такое понимание укоренилось в геоморфологической литературе уже более 50 лет, хотя её самые ранние корни восходят к Гилберту (1870 г.) [5]. В отличие от потоков воды вывозка лесоматериалов отличается дискретностью процесса. Вместе с тем сильнее факторные связи относят лесотранспортную сеть и лесовозы на ней к изменённым человеком геоморфным системам. Кстати, дискретный процесс водного транспорта леса происходит по естественным притокам и искусственным каналам речной сети, в которых течение воды является непрерывным процессом. Любая дорога проектируется и строится на местности относительно русел рек.

С изменением климата острее встают задачи охраны окружающей среды.

На окружающую среду уже влияют значительные изменения климатических режимов во всём мире, что приводит к использованию более сложных и, следовательно, наиболее дорогих «цепочек» поставок биомассы и биоэнергии. Представленные подходы следует учитывать в предстоящих исследованиях и практике для обеспечения устойчивого лесопользования [6]. Значительно природно-климатические факторы влияют на вывозку древесины по автомобильным дорогам [7—11].

Основной технической подсистемой вывозки становится сортиментовоз.

Цель статьи — в системе из 35 эвристически отобранных факторов для характеристики вывозки сортиментов «водитель — сортиментовоз — автомобильная дорога — окружающая среда» выявить наиболее значимые группы факторов по убыванию коэффициента коррелятивной вариации этих групп.

2. Материалы и методы

Значения всех учтённых 35 факторов, представляемые для идентификации нелинейных закономерностей между парами этих факторов, а также ранговых их распределений, приводятся в таблице исходных данных в программной среде Excel (таблица 1) по следующим группам:

I — время въезда на опытный участок дороги (X01 — номер месяца в году; X02 — номер суток в месяце; X03 — номер часа в сутках; X04 — время движения по опытному участку, мин);

II — приведённые координаты центра участка (X05 — северная широта (за 0 взята 57,93099), °; X06 — восточная долгота (за 0 взята 90,70971), °; X07 — высота над уровнем Балтийского моря, м);

III — параметры водителя (X08 — стаж работы водителя, лет; X09 — возраст водителя, лет; X10 — время нахождения в пути с начала движения, ч);

IV — параметры сортиментовоза (X11 — колёсная формула (0 — 6 × 6, 1 — 6 × 4); X12 — грузоподъёмность, т; X13 — тип кузова (1 — тягач; 2 — тягач с прицепом; 3 — тягач с полуприцепом); X14 — время эксплуатации, лет; X15 — мощность двигателя, л. с.; X16 — пробег, тыс. км; X17 — интервал времени после капремонта, мес.; X18 — нагруженность лесовоза (масса груза / грузоподъёмность); X19 — тип шин (0 — 425/85r21; 1 — 14.00/r20xml); X35 — скорость движения, км/ч);

V — параметры дорожного покрытия (X20 — тип покрытия (0 — грунтовое; 1 — гравийное; 2 — асфальтовое); X21 — ширина дорожного покрытия, м; X22 — время эксплуатации после строительства, лет; X23 — количество капитальных ремонтов с момента окончания строительства, шт.; X24 — влага на дорожном покрытии (0 — сухое; 1 — влажное; 2 — сырое; 3 — мокрое; 4 — насыщенное водой); X25 — вид снежно-ледяного покрытия (0 — без снега; 1 — уплотнённый снег; 2 — снег сухой; 3 — мокрый снег; 4 — снежно-ледяная корка); X34 — продольный уклон дорожного полотна на экспериментальном участке, ‰);

VI — метеорологические параметры (X26 — температура приземного слоя воздуха, °C; X27 — атмосферное давление, мм рт. ст.; X28 — относительная влажность на высоте 2 м, %; X29 — скорость ветра на высоте 2 м, м/с; X30 — горизонтальная дальность видимости, км; X31 — температура точки росы, °C; X32 — количество осадков, выпавших за 12 ч до начала опыта, мм; X33 — высота снежного покрова (вне дорожного полотна), мм).

В таблице 1 приведены две первые группы параметров (времени и координаты), до группировки факторов оценочным показателем был фактор X35.

Таблица 1. Фрагмент исходных данных по группам факторов

№ опыта	Параметры времени				Приведённые координаты			...	X35
	X01	X02	X03	X04	X05	X06	X07		
1	6	9	17.5	1.4	0.77305	4.35617	476	...	30.5
2	7	13	0.9	1.6	0.75343	4.51697	403	...	37
3	7	13	0.1	1.2	0.87879	4.528033	602	...	13
4	7	30	0.5	0.8	0.01777	3.56668	159	...	56
...
159	3	29	17.1	1.6	0.26091	0.20046	168	...	27.0
160	3	30	0.2	1.4	0.26083	0.21971	166	...	35.0
161	3	30	1.45	1.4	0.32608	0.70764	184	...	36.5
162	3	30	2.85	1.3	0.47915	1.22367	82	...	44.0

3. Результаты

3.1. Идентификация волны и тренда

Асимметричный вейвлет-сигнал, как правило, любой природы (объекта исследования) математически записывается общей волновой формулой [3] вида:

$$y_i = A_i \cos(\pi x / p_i - a_{8i}), \quad A_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}), \quad p_i = a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}}, \quad (1)$$

где y — показатель (зависимый фактор), i — номер составляющей модели (1), m — количество членов в модели (1), x — объясняющая переменная (влияющий фактор), $a_1 \dots a_8$ — параметры модели (1), принимающие числовые значения в ходе структурно-параметрической идентификации в программной среде CurveExpert-1.40 (URL: <http://www.curveexpert.net/>), A_i — амплитуда (половина) вейвлета (ось y), P_i — полупериод колебания (ось x).

Тренд образуется при условии, когда период колебания a_{5i} стремится к бесконечности или он во много раз больше интервала времени измерений. Чаще всего тренд образуется из двух членов формулы (1).

Почти все модели бинарных отношений были выявлены при частном случае, когда $a_2 = 0$, по двухчленной формуле

$$y = a \exp(-bx^c) + dx^e \exp(-fx^g), \quad (2)$$

где y — зависимый показатель, x — влияющая переменная, $a - g$ — параметры модели (2), идентифицируемые в программной среде CurveExpert-1.40.

3.2. Факторный анализ групп факторов

В факторном анализе каждое ранговое распределение и бинарное отношение содержит тренд (2). Причём тренд является частным случаем сверхдлинного по периоду колебания вейвлета.

После статистического моделирования ранговых и бинарных распределений проводится факторный анализ по адекватности закономерностей (2) ранговых распределений (в диагональных клетках корреляционной матрицы) и бинарных отношений (в других клетках матрицы), позволяющий составить рейтинги факторов как влияющих параметров и как зависимых показателей по суммам значений коэффициентов корреляции по строкам и столбцам матрицы [1], [2].

Метод идентификации закономерностей [12] при факторном анализе позволяет выделить наиболее значимые параметры изучаемой системы любого вида и сильные бинарные отношения между ними (таблица 2).

Таблица 2. Корреляционная матрица по трендам (2) и рейтинг групп факторов

Переменная x	Зависимые факторы (показатели y)								Сумма Σr	Место I_x
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
I	0.4312	0.4125	0.2683	0.3144	0.2884	0.3871	0.4013	0.3037	2.8069	3
II	0.3045	0.7804	0.2564	0.4094	0.5239	0.4704	0.5549	0.4566	3.7565	1
III	0.2260	0.3071	0.7128	0.2624	0.1884	0.2950	0.2983	0.2319	2.5219	7
IV	0.2420	0.4114	0.2569	0.4875	0.2800	0.3167	0.3425	0.4021	2.7391	4
V	0.2925	0.4179	0.1712	0.2679	0.3958	0.2546	0.2992	0.3205	2.4196	8
VI	0.2712	0.4149	0.2743	0.2534	0.2607	0.4804	0.4625	0.2619	2.6793	5
VII	0.2003	0.5145	0.2694	0.3032	0.3325	0.4777	0.4877	0.3153	2.9006	2
VIII	0.2756	0.4141	0.2216	0.3971	0.3277	0.2911	0.3247	0.3685	2.6204	6
Сумма Σr	2.2433	3.6728	2.4309	2.6953	2.5974	2.9730	3.1711	2.6605	22.4443	—
Место I_y	8	1	7	4	6	3	2	5	—	0.3507

Коэффициент коррелятивной вариации свойств физического объекта исследования в виде 162 пробных участков дорог и восьми групп из 35 факторов равен отношению общей суммы коэффициентов корреляции к квадрату от количества факторов. По данным таблицы 2, коэффициент коррелятивной вариации групп будет равен $22.4443 / 8^2 = 0.3507$. Этот же статистический показатель для матрицы из 35 факторов был равным $413.6273 / 35^2 = 0.3377$. Тогда по уровню адекватности обе системы параметров находятся в интервале коэффициента корреляции от 0.3 до 0.5 (слабый уровень связи между факторами). Этот коэффициент даёт оценку функциональной связности подсистем (групп факторов) и элементов системы (отдельных факторов). Этот критерий позволяет сравнивать между собой разнородные

системы. Например, можно сравнивать системы вывозки сортиментов в различных регионах России или в разных странах.

Скорость движения лесовоза как влияющая переменная среди 35 факторов занимает 26-е место, а как зависимый показатель — 24-е место. Сумма коэффициентов корреляции в сравнении с первым местом меньше почти в два раза. Это факт показывает, что кинематический параметр недостаточно полно отражает поведение системы вывозки сортиментов.

3.3. Рейтинги групп факторов

В таблице 2 выделены факторы, занимающие первые три места в двух рейтингах (влияющие переменные и показатели).

В обоих рейтингах на первом месте находится группа II — приведённые координаты центра участка. Таким образом, геоморфология лесотранспортной сети становится главенствующей из всех восьми групп. Второе место в обоих рейтингах занимает объединённая группа VII — параметры системы климатической геоморфологии (II + VI).

Группа VIII — параметры технической системы (IV + V) как влияющая переменная — занимает шестое место, а как зависимый показатель — пятое.

Группа II — приведённые координаты центра участка — получает значение коэффициента коррелятивной вариации 0.7804 и находится на первом месте.

Второе место занимает группа III — параметры водителя. В обоих рейтингах эта группа занимает только седьмое место, а внутри самой третьей группы параметры водителя получают максимальное значение коэффициента коррелятивной вариации 0.7128.

Третье место по иерархии занимает влияние группы II — приведённые координаты центра участка на группу VII — параметры системы климатической геоморфологии (II + VI) с коэффициентом коррелятивной вариации 0.5549.

3.4. Факторный анализ в группах

Вначале рассмотрим группу II – приведённые координаты центра участка (таблица 3).

Таблица 3. Корреляционная матрица и рейтинг геоморфологических параметров

Влияющая переменная x	Показатели y			Сумма Σr	Место I_x
	X05	X06	X07		
X05 — приведённая северная широта, °	0,9951	0,5711	0,6576	2,2238	3
X06 — приведённая восточная долгота, °	0,6100	0,9889	0,8553	2,4542	1
X07 — высота над уровнем моря, м	0,5725	0,7800	0,9929	2,3454	2
Сумма коэффициентов корреляции Σr	2,1776	2,3400	2,5058	7,0234	—
Место зависимого показателя I_y	3	2	1	—	0.7804

Коэффициент коррелятивной вариации этой группы равен 0.7804, что больше уровня адекватности 0.7 для сильных факторных связей.

На первом месте как влияющая переменная находится восточная долгота, на втором — высота над уровнем моря и на третьем — северная широта. Среди зависимых показателей первое место заняла высота, второе — восточная долгота и третье — северная широта. Максимальное значение коэффициента корреляции 0.9951 относится к ранговому распределению приведённой северной широты.

Затем рассмотрим группу III — параметры водителя (таблица 4), которые влияют друг на друга.

Таблица 4. Корреляционная матрица и рейтинг параметров водителя

Влияющая переменная x	Показатели y			Сумма Σr	Место I_x
	X08	X09	X10		
X08 — стаж работы водителя, лет	0.9730	0.8583	0.8900	2.7213	1
X09 — возраст водителя, лет	0.8552	0.9962	0.2200	2.0714	2
X10 — время нахождения в пути, ч	0.3187	0.3199	0.9841	1.6227	3
Сумма коэффициентов корреляции Σr	2.1469	2.1744	2.0941	6.4154	—
Место зависимого показателя I_y	2	1	3	—	0.7128

Коэффициент коррелятивной вариации свойств всех 30 водителей равен отношению общей суммы коэффициентов корреляции к квадрату от количества факторов, т. е. $6.4154 / 3^2 = 0.7128$. Это значение больше 0.7, поэтому уровень адекватности относится к сильным связям между тремя факторами.

Как влияющая переменная на первом месте находится стаж работы водителя, а на втором — возраст. Среди критериев оценки (зависимых показателей) первое место определяется возрастом водителя, а второе — стажем работы. Максимальный коэффициент корреляции равен 0.9962 у рангового распределения возраста водителя.

Четвёртое место заняло влияние геоморфологических факторов на параметры дорожного покрытия (таблица 2). На пятом месте находится влияние (со средней адекватностью при коэффициенте коррелятивной вариации 0.5145) параметров климатической геоморфологии (группа VII) на морфологию местности (группа II).

Для наглядности приведём матрицу связей VI \rightarrow VI, т. е. взаимное влияние метеопараметров с коэффициентом коррелятивной вариации 0.4804 (таблица 5), который ставит эту матрицу чуть ниже уровня средней адекватности.

В обоих рейтингах первое место занял фактор X26 — температура приземного слоя воздуха, °C, а второе — X31 — температура точки росы, °C. Поэтому в дальнейших исследованиях температуру точки росы можно исключить. Наибольший коэффициент корреляции 0.9996 получило ранговое распределение X33 — высота снежного покрова (вне дорожного полотна), мм.

Таблица 5. Корреляционная матрица по трендам (2) и рейтинг влияния групп VI → VI

Переменная x	Зависимые факторы (показатели y)								Сумма Σr	Место I_x
	X26	X27	X28	X29	X30	X31	X32	X33		
X26	0.9866	0.8733	0.5276	0.463	0.4403	0.9479	0.2236	0.9518	5.4141	1
X27	0.8393	0.9975	0.0159	0.312	0.0821	0.8473	0.3807	0.1216	3.5964	5
X28	0.2489	0.0159	0.9969	0.4681	0.6923	0.1083	0.2352	0.0445	2.8101	7
X29	0.2651	0.5220	0.4955	0.9981	0.1602	0.5115	0.1162	0.5357	3.6043	4
X30	0.3793	0.0821	0.7731	0.1602	0.9980	0.1379	0.1748	0.1621	2.8675	6
X31	0.9426	0.8615	0.1649	0.7113	0.1387	0.9857	0.4537	0.9601	5.2185	2
X32	0.2205	0.3964	0.2352	0.1162	0.1748	0.3112	0.9760	0.2610	2.6913	8
X33	0.8656	0.8362	0.0445	0.5131	0.1621	0.8928	0.2283	0.9996	4.5422	3
Сумма Σr	4.7479	4.5849	3.2536	3.7420	2.8485	4.7426	2.7885	4.0364	30.7444	—
Место I_y	1	3	6	5	7	2	8	4	—	0.4804

3.5. Матрица сверхсильных связей

При условии допустимого коэффициента корреляции $[r] \geq 0.95$ в таблице 6 получилось 13 формул, расположившихся на девяти строках и четырёх столбцах.

Таблица 6. Сверхсильные бинарные связи при $[r] \geq 0.95$

Переменная x	Зависимые факторы (показатели y)				Сумма Σr	Место I_x
	X06	X11	X15	X33		
X01	0.9700			0.9900	1.9600	2
X06				0.9913	0.9913	7
X12		0.9993			0.9993	6
X14			0.9535	0.9675	1.9210	3
X15		1.0000			1	5
X25	0.9803			0.9905	1.9708	1
X26	0.9622			0.9518	1.9140	4
X31				0.9601	0.9601	9
X33	0.9797				0.9797	8
Сумма Σr	3.8922	1.9993	0.9535	5.8512	12.6962	—
Место I_y	2	3	4	1	—	0.9766

Коэффициент коррелятивной вариации стал равным $12.6962 / 13 = 0.9766$ для 13 сверхсильных бинарных отношений.

Среди влияющих переменных на первом месте оказался фактор X25 — вид снежно-ледяного покрытия, на втором месте разместился X01 — номер месяца в году, а на третьем месте — X14 — время эксплуатации лесовоза. Среди зависимых показателей на первом месте оказался фактор X33 — высота снежного покрова; на втором месте — фактор X06 — приведённая восточная долгота, на третьем месте — фактор X11 — колёсная формула лесовоза.

3.6. Формулы сверхсильных закономерностей

В таблице 7 по убыванию адекватности приведены модели, выявленные по трендам (2).

Показатель «вид снежно-ледяного покрытия X25» влияет на высоту снежного покрова (вне дороги) X33 по закону Вейбула до предельного показателя X33 в 66.92 мм. Время эксплуатации лесовоза X14 влияет на вид снежно-ледяного покрытия X25 по трехчленной формуле. Также по формуле с тремя составляющими происходит влияние температуры воздуха X26 на приведенную восточную долготу X06.

Система вывозки сортиментов содержит пять групп сверхсильных факторов: время въезда (X01 — как переменная номер месяца); координаты центра участков (X06 — восточная долгота, причём как переменная и как показатель); параметры лесовоза как переменные (X12 — грузоподъёмность, X14 — время эксплуатации и X15 — мощность двигателя) и как показатели (X11 — колёсная формула и X15 — мощность двигателя); состояние дорожного покрытия (переменная X25 — вид снежно-ледяного покрытия); метеорологические данные

как переменные (X26 — температура воздуха, X31 — температура точки росы, X33 — высота снежного покрова) и как показатель (высота снежного покрова вне дороги).

Таблица 7. Параметры модели (2) сверхсильных бинарных отношений

Переменная <i>x</i>	Показатель <i>y</i>	Тренд $y = a \exp(-bx^c) + dx^e \exp(-fx^g)$							Коэф. корр. <i>r</i>
		Экспоненциальный закон			Биотехнический закон				
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	
X15	X11	21.32735	– 0.0014461	1	–0.036145	1.28989	0.0019135	1	1.0000
X12	X11	0.27085	–0.11059	1	–0.0037881	1.49386	–0.083049	1	0.9993
X06	X33	68.28708	–0.034344	0.96286	–3.29824	7.78166	2.03720	0.95590	0.9913
X25	X33	66.91948	0	0	–66.87192	0	3.24905	1	0.9905
X01	X33	0.0016987	–10.51225	0.014739	–1.39751e7	17.85193	22.28514	0.38051	0.9900
X25	X06	4.46094	1.70514	1	0.25357	5.57308	1.72820	1	0.9803
X33	X06	446094	0.017868	1	–0.14885	1.45495	0.071968	1	0.9797
X01	X06	0	0	0	0.011067	5.24704	0.32738	1.31050	0.9700
X14	X33	– 210.98159	0	0	2.32604	4.03724	0	0	0.9675
		0	0	0	149.8123	9.37806	3.03140	1.06826	
X26 ¹	X06	1.00238	–6.19012e-5	2.50463	1.53694e-38	52.92770	22.18395	0.42583	0.9622
		0	0	0	–1.10951e-18	14.00778	0.20470	1.01615	
X31 ²	X33	22.86280	–0.064185	1	– 0.00027179	3.71053	0	0	0.9601
X26 ¹	X33	32.95167	–0.054662	1	–0.0016954	3.21537	0	0	0.9568
X14	X15	826.7106	0.12739	1.17952	–137.8124	11.04587	3.61086	1.06664	0.9535

Примечания: ¹x: = x + 40; ²x: = x + 45.

4. Обсуждение и заключение

Предложенный метод факторного анализа групп параметров *y* системы вывозки сортиментов позволил по выявленным закономерностям ранговых распределений и бинарных отношений уменьшить количество от предварительно выделенных 35 факторов до 24 (летом до 68.57 %) и 25 (зимой до 71.43 %). В основном, были исключены факторы, дающие в рейтингах влияющих переменных и зависимых показателей коэффициент корреляции менее 0.3.

Коэффициент корреляционной вариации, т. е. мера функциональной взаимосвязи между параметрами системы вывозки сортиментов, повышается с возрастанием допустимого коэффициента корреляции от 0 до 1. Он будет равен $413.6273 / 35^2 = 0.3377$. Этот

статистический критерий позволяет сравнивать между собой разнородные системы. Коэффициент коррелятивной вариации стал равным $12.6962 / 13 = 0.9766$ для 13 сверхсильных бинарных отношений. По данным таблицы 2, коэффициент коррелятивной вариации групп будет равен $22.4443 / 8^2 = 0.3507$.

В обоих рейтингах (переменные и показатели) на первом месте находится группа II — приведённые координаты центра участка. Таким образом, геоморфология лесотранспортной сети становится главенствующей из всех восьми групп. Второе место в обоих рейтингах занимает объединённая группа VII — параметры системы климатической геоморфологии (II + VI). Группа II — приведённые координаты центра участка — получает значение коэффициента коррелятивной вариации 0.7804 и находится на первом месте. Второе место занимает группа III — параметры водителя. В обоих рейтингах эта группа занимает только седьмое место, а внутри самой третьей группы параметры водителя получают максимальное значение коэффициента коррелятивной вариации 0.7128. Третье место по иерархии занимает влияние группы II — приведённые координаты центра участка на группу VII — параметры системы климатической геоморфологии (II + VI) с коэффициентом коррелятивной вариации 0.5549.

Список литературы

1. Мохирев А. П., Рукомойников К. П., Мазуркин П. М. Анализ факторов, влияющих на скорость автолесовозов // Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 20—25. DOI: 10.17513/use.37509.
2. 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.
3. Mazurkin P. M. Method of identification // International Multidisciplinary Scientific GeoConference, Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2014. No 1 (6). P. 427—434 [Electronic resource]. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84946541076&partnerID=40&md5=72a3fcce31b20f2e63e4f23e9a8a40e3>.
4. A Geomorphic Classification System / D. M. Haskins, C. S. Correll, R. A. Foster, J. M. Chatoian, J. M. Fincher, S. Strenger, J. E. Keys, J. R. Maxwell, T. King // Version 1.4, U.S.D.A. Forest Service, Geomorphology Working Group, 1998. 130 p. 64137651.pdf.
5. The Concept of Transport Capacity in Geomorphology / J. Wainwright, A. J. Parsons, J. R. Cooper, P. Gao, J. A. Gillies, L. Mao, J. D. Orford, P. G. Knight // American Geophysical Union. 2015. 142 p. DOI: 10.1002/2014RG000474.
6. Schweier J. Introduction for IJFE special article collection «The Role of Forest Operations in Climate Change Affected Forests» // International Journal of Forest Engineering. 2019. No 30:3. P. 218—218. DOI: 10.1080/14942119.2019.1686251.
7. Dependence of filtration coefficient of forest soils to its density / I. V. Grigorev, E. G. Khitrov, A. V. Kalistratov, M. V. Stepanishcheva // Proc. of the 14th Int. Multidisciplinary Sci. Geoconferences, v. 2: «Water Resources. Marine and Ocean Ecosystems», 16—26 June 2014, Albena, Bulgaria. P. 339—344.
8. Analysis of the distribution of movement speed from time of day / E. V. Goryaeva, A. P. Mokhirev, S. O. Medvedev, N. A. Bragina // IOP Conference Series: Earth and

Environmental Science. 2021. P. 012—029. DOI: 10.1088/1755-1315/720/1/012029
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/720/1/012029>.

9. Верификация экспериментами моделей скорости движения лесовозов в зависимости от природно-производственных факторов / А. П. Мохирев, К. П. Рукомойников, П. М. Мазуркин, Н. А. Брагина // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2021. Т. 25, № 2. С. 108—115. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-108-115.
10. Козлов В. Г. Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учётом влияния климата и погоды на условия движения: дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск: Изд-во САФУ, 2017. 406 с.
11. Pozdnyakova M., Mokhiev A., Ryabova T. Comprehensive evaluation of technological measures for increasing availability of wood resources // J. Applied Engineering Science. 2018. No 16 (4). P. 565—569. DOI: 10.5937/jaes16-18842.
12. Zverev G. I., Menshikh V. V. Optimizing the selection of combination of alternative functions of ergatic system multifunctional elements // J. Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1479. P. 012—062. DOI: 10.1088/1742-6596/1479/1/012062.

References

1. Mokhiev A. P., Rukomoinikov K. P., Mazurkin P. M. Analiz faktorov, vliyayushchikh na speed avtolesovozov. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2020, no 11, pp. 20—25. doi: 10.17513/use. 37509. (In Russ.)
2. Mokhiev A. P., Rukomoinikov K. P., Mazurkin P. M. Multifactorial influence of natural and industrial conditions on the speed of movement of logging trucks. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2020, no 4 (48), pp. 88—96. doi:10.18324/2077-5415-2020-4-88-96. (In Russ.)
3. Mazurkin P. M. Method of identification. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference, Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2014, no 1 (6), pp. 427—434 [Electronic resource]. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84946541076&partnerID=40&md5=72a3fcce31b20f2e63e4f23e9a8a40e3>.
4. Haskins D. M., Correll C. S., Foster R. A., Chatoian J. M., Fincher J. M., Strenger S., Keys J. E., Maxwell J. R., King T. A Geomorphic Classification System. *Version 1.4, U.S.D.A. Forest Service, Geomorphology Working Group.*, 1998. 130 p. 64137651.pdf.
5. Wainwright J., Parsons A. J., Cooper J. R., Gao P., Gillies J. A., Mao L., Orford J. D., Knight P.G. The Concept of Transport Capacity in Geomorphology. *American Geophysical Union*, 2015. 142 p. doi: 10.1002/2014RG000474.
6. Schweier J. Introduction for IJFE special article collection «The Role of Forest Operations in Climate Change Affected Forests». *International Journal of Forest Engineering*, 2019, no 30:3, pp. 218—218. doi: 10.1080/14942119.2019.1686251.
7. Grigorev I. V., Khitrov E. G., Kalistratov A. V., Stepanishcheva M. V. Dependence of filtration coefficient of forest soils to its density. *Proc. of the 14th Int. Multidisciplinary Sci. Geoconferences, v. 2: «Water Resources. Marine and Ocean Ecosystems», 16—26 June 2014, Albena, Bulgaria*, pp. 339—344.
8. Goryaeva E. V., Mokhiev A. P., Medvedev S. O., Bragina N. A. Analysis of the distribution of movement speed from time of day. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, pp. 012—029. doi: 10.1088/1755-1315/720/1/012029
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/720/1/012029>.
9. Mokhiev A. P., Rukomoinikov K. P., Mazurkin P. M., Bragina N. A. Verification by experiments of models of the speed of movement of timber trucks depending on natural and production factors. *Lesnoy vestnik. Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 2, pp. 108—115. doi: 10.18698/2542-1468-2021-2-108-115. (In Russ.)

10. Kozlov V. G. *Methods, models and algorithms for designing logging roads taking into account the influence of climate and weather on traffic conditions*: dis. ... Doctor of technical sciences. Arkhangelsk, SAFU Publishing House, 2017. 406 p. (In Russ.)
11. Pozdnyakova M., Mokhirev A., Ryabova T. Comprehensive evaluation of technological measures for increasing availability of wood resources. *J. Applied Engineering Science*, 2018, no 16 (4), pp. 565—569. doi: 10.5937/jaes16-18842.
12. Zverev G. I., Menshikh V. V. Optimizing the selection of combination of alternative functions of ergatic system multifunctional elements. *J. Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1479, pp. 012—062. doi: 10.1088/1742-6596/1479/1/012062.

© Мазуркин П. М., Мохирев А. П., Рукомойников К. П., 2021