

Метод количественной оценки и прогнозирования показателей эффективности использования лесозаготовительной и лесотранспортной техники и ее надежности в процессе эксплуатации при совершенствовании процессов ТО и ремонта

А.Н. Брюховецкий^а, В.Ю. Букреев^б, Е.Г. Бавыкина^с, А.Б. Бондарев^д,
Ю.А. Боровлёв^е, А.А. Скряпников^ф

Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, Воронеж, Россия

^а bryuhovetski-an@yandex.ru, ^б bukreev-vyu@list.ru, ^с bavykinalena@inbox.ru, ^д aleksbbond@list.ru,

^е uriiborovlev@inbox.ru, ^ф aleksei-skrypnikov@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0003-3247-3411>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-6061-4125>, ^с <https://orcid.org/0000-0002-8462-8094>,

^д <https://orcid.org/0000-0002-2902-7528>, ^е <https://orcid.org/0000-0002-7437-7031>, ^ф <https://orcid.org/0000-0002-6587-3406>

Статья поступила 10.09.2022, принята 03.11.2022

В статье исследован вопрос эффективности использования лесозаготовительной и лесотранспортной техники и ее надежности в процессе эксплуатации при совершенствовании процессов ТО и ремонта. На примере парка валочно-пакетирующих машин ЛП-19 был проведен анализ влияния величины коэффициента эффективности процессов поддержания работоспособности машин $\alpha_{оп.}$ на t_p , $K_{ти}$ и K_r . В ходе исследования решалась задача количественной оценки изменения указанных показателей при совершенствовании процессов ТО и ремонта, одновременно решался вопрос оценки эффективности варианта совершенствования самой системы. Представлены этапы метода расчета показателей t_p , $K_{ти}$ и K_r и их прогнозирования при совершенствовании процессов поддержания работоспособности машин: оценка фактически достигнутых показателей надежности машин — величина оптимального ресурса, коэффициентов технического использования и готовности; совершенствование процессов ТО и ремонта машин путем внедрения прогрессивных методов организации и управления процессами поддержания работоспособности, чем достигается повышение коэффициента оперативной работы $\alpha_{оп.} > \alpha_{оп.н.}$; количественная оценка вновь достигнутого значения коэффициента $\alpha_{оп.}$ по методике, приведенной ранее, а затем определяются основные параметры функционирования подсистемы «б» — среднее время восстановления $t'_б$, интенсивность обслуживания требований $\mu'_б$, параметр обслуживания d' ; определяется оптимальное количество ремонтных постов $X_{оп}$ для достигнутого значения коэффициента $\alpha_{оп.}$, а также параметры оптимальной работы подсистемы — среднее число требований, ожидающих очереди $M_{ож}$, среднее количество свободных каналов N'_0 , среднее время ожидания требования обслуживания $t'_{ож}$ и среднее время пребывания требования в подсистеме $t'_{пр.б}$; количественная оценка достигнутых в результате совершенствования подсистемы «б» значений t'_p , $K_{ти}$, K_r . Рассмотренный метод позволяет прогнозировать рост показателей надежности с увеличением коэффициента оперативной работы $\alpha_{оп.}$

Ключевые слова: прогнозирование; количественная оценка; эффективность процессов; снижение потерь; лесотранспортная техника; техническое обслуживание; ремонт.

The method of quantitative assessment and forecasting of indicators of the efficiency of the use of logging and forest transport equipment and its reliability during operation while improving maintenance and repair processes

A.N. Bryukhovetsky^а, V.Yu. Bukreev^б, E.G. Bavykina^с, A.B. Bondarev^д,
Yu.A. Borovlev^е, A.A. Skrypnikov^ф

Voronezh State University of Engineering Technologies; 19, Revolution Ave., Voronezh, Russia

^а bryuhovetski-an@yandex.ru, ^б bukreev-vyu@list.ru, ^с bavykinalena@inbox.ru, ^д aleksbbond@list.ru,

^е uriiborovlev@inbox.ru, ^ф aleksei-skrypnikov@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0003-3247-3411>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-6061-4125>, ^с <https://orcid.org/0000-0002-8462-8094>,

^д <https://orcid.org/0000-0002-2902-7528>, ^е <https://orcid.org/0000-0002-7437-7031>, ^ф <https://orcid.org/0000-0002-6587-3406>

Received 10.09.2022, accepted 03.11.2022

The article examines the issue of the efficiency of the use of logging and forest transportation equipment and its reliability during operation while improving the maintenance and repair processes. Using the example of the LP-19 felling and packing machines, the

analysis of the influence of the value of the efficiency coefficient of the processes of maintaining the operability of the machines is carried out. In the course of the study, the task of quantifying the changes in these indicators during the improvement of maintenance and repair processes is solved, at the same time, the issue of evaluating the effectiveness of the improvement option of the system itself is clarified. The stages of the method of calculating the indicators t_p , $K_{ти}$, K_r and their forecasting when improving the processes of maintaining the operability of machines are presented: evaluation of the actually achieved reliability indicators of machines - the value of the optimal resource, coefficients of technical use and readiness; improvement of the processes of maintenance and repair of machines by introducing progressive methods of organization and management of the processes of maintaining operability, thereby increasing the coefficient of operational work $\alpha_{оп.} > \alpha_{оп.н.}$; quantitative assessment of the newly achieved value of the coefficient $\alpha_{оп}$ according to the method given earlier, and then the main parameters of the functioning of the subsystem "b" are determined - the average recovery time $t'_б$, the intensity of maintenance requirements $\mu'_б$, the maintenance parameter a' ; the optimal amount is determined repair posts $X_{оп}$ for the achieved value of the coefficient $\alpha_{оп.}$, as well as the parameters of the optimal operation of the subsystem - the average number of requirements waiting in the queue $M'_{ож}$, the average number of free channels N'_0 , the average waiting time for the service requirement $t'_{ож}$ and the average time the requirement stays in the subsystem $t'_{пр.б}$; quantitative assessment of the values t_p , $K_{ти}$, K_r achieved as a result of the improvement of subsystem "b". The considered method makes it possible to predict the growth of reliability indicators with an increase in the coefficient of operational work $\alpha_{оп.}$

Keywords: forecasting; quantitative assessment; process efficiency; loss reduction; forest transportation equipment; maintenance; repair.

Введение. Эффективность процессов поддержания работоспособности машин, как показали выполненные исследования, можно оценивать величиной коэффициента $\alpha_{оп.}$, который оказывает значительное влияние на оптимальный ресурс t_p и коэффициент $K_{ти}$ и K_r [7; 12; 18].

Экспериментальные исследования подтвердили возможность весьма существенного повышения коэффициента $\alpha_{оп.}$, в связи с чем, вполне естественно, возникает задача количественной оценки изменения указанных показателей при совершенствовании процессов ТО и ремонта [1; 4; 23].

Ввиду того, что коэффициент $\alpha_{оп.}$ повышается в результате внедрения разработанных рекомендаций, обеспечивающих снижение непроизводительных потерь рабочего времени персоналом системы, с решением данной задачи одновременно решается вопрос оценки эффективности варианта совершенствования системы [2; 15].

Метод расчета показателей t_p , $K_{ти}$ и K_r и их прогнозирования при совершенствовании процессов поддержания работоспособности машин. Результаты выполненного технического исследования позволили разработать метод расчета показателей t_p , $K_{ти}$ и K_r и их прогнозирования при совершенствовании процессов поддержания работоспособности машин [17; 10]. Блок-схема последовательности расчетов приведена на рисунке.

Суть метода заключается в следующем. На первом этапе осуществляется оценка фактически достигнутых показателей надежности машин — величина оптимального ресурса, коэффициентов технического использования и готовности (блоки 1–5). На втором этапе осуществляется совершенствование процессов ТО и ремонта машин путем внедрения прогрессивных методов организации и управления процессами поддержания работоспособности [8; 9; 21], чем достигается повышение коэффициента оперативной работы $\alpha_{оп.} > \alpha_{оп.н.}$. На третьем этапе проводится количественная оценка вновь достигнутого значения коэффициента $\alpha_{оп}$ по методике, приведенной ранее, а затем определяются основные параметры функционирования подсистемы «б» — среднее время восстановления $t'_б$, интенсивность обслуживания требований $\mu'_б$, параметр обслуживания a' (блоки 3–6).

На четвертом этапе определяются оптимальное количество ремонтных постов $X_{оп}$ для достигнутого значения коэффициента $\alpha_{оп.}$, а также параметры оптимальной работы подсистемы — среднее число требований, ожидающих очереди $M'_{ож}$, среднее количество свободных каналов N'_0 , среднее время ожидания требования обслуживания $t'_{ож}$ и среднее время пребывания требования в подсистеме $t'_{пр.б}$ (блоки 9–16).



Рис. Блок-схема нормативных значений $t'_б$, $t'_{пр.б}$, $t'_р$, $K'_{ти}$, K'_r

На пятом этапе осуществляется количественная оценка достигнутых в результате совершенствования подсистемы «б» значений $t'_р$, $K'_{ти}$, K'_r (блоки 17–24). Рассмотренный метод позволяет прогнозировать рост показателей надежности с увеличением коэффициента оперативной работы $\alpha_{оп.}$

В данной работе анализ влияния величины коэффициента $\alpha_{оп.н}$ на t_p , $K_{ти}$ и $K_{г}$, осуществлялся на примере парка валочно-пакетирующих машин ЛП-19 [5], об-

служиваемых подсистемой «б» в соответствии с приведенным методом.

Использованные при расчетах исходные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты анализа исходных параметров

Значение исходных параметров					
Обозначение	Величина	Размерность	Обозначение	Величина	Размерность
$\alpha_{оп.н}$	0,397	–	t_0	0,38	суток
n	1,206	–	$t_{мтп}$	0,146	суток
b_{34}	9570	$p./1000$ м.ч.	$t_{пр.о}$	1,03	суток
A	2,26	–	$t_{кр}$	42	суток
B	0,106	–	$t_{н.о.}$	150,3	м.ч./треб.
C	1,152	–	$t_{0,1}$	0,2	суток
C_0	25 320	$p.$	$t_{0,2}$	0,7	суток
$t_{пер}$	2	суток	t_1	60	моточас
λ_0	0,0283	треб./сутки	t_2	240	моточас
m_0	2	чел.	t_{cc}	4,255	м.ч./сутки
$t_{о.со}$	1	сутки	$t_{с0}$	553	моточас

Значения среднего времени восстановления t_0 и проезда машины технической помощи $t_{мтп}$, а также среднего времени пребывания требования в подсистеме «а» $t_{пр.о}$ приняты соответственно.

Величина среднесуточной наработки t_{cc} определялась как $t_{cc} = t_{см} \cdot K_{см} \cdot K_{в}$, а интенсивность поступления требований λ_0 определялась из выражения:

$$\lambda_0 = \frac{t_{cc}}{t_{н.о.}}$$

где $t_{н.о} = (\frac{1}{t_{отк}} - \frac{1}{t_{мр}})^{-1}$; здесь $t_{н.о}$ — средняя наработка машины на отказ, устранимый на объекте; $t_{отк}$ — общая средняя наработка на отказ, которая равна 130 м.ч.

Основные результаты расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2. Влияние величины коэффициента на показатели надежности и эффективности использования машин

Значения основных расчетных показателей												
$\alpha_{оп.}$	t'_6	$n_{оп}$	$t'_{пр.б.}$	K_A	K_C	t'_p	Δt_p	$K'_{ти}$	$K'_г$	$\Delta K_{ти}$	$\gamma_{кр}$	$\gamma_б$
–	суток	по-	суток	–	–	мото-	%	–	–	%	%	%
0,397	13,5	9	19,31	1,000	1,00	8320	–	0,859	0,897	–	–	–
0,397	13,5	10	15,64	1,000	0,868	8450	1,562	0,8716	0,911	1,467	0,201	9,927
0,425	12,6	10	14,39	0,940	0,823	8620	3,605	0,876	0,914	1,467	0,456	13,308
0,450	11,9	9	14,75	0,894	0,836	8705	4,627	0,875	0,913	1,863	0,579	12,335
0,475	11,3	9	13,17	0,855	0,779	8857	6,454	0,880	0,919	2,44	0,794	16,609
0,500	10,7	8	14,12	0,815	0,814	8909	7,079	0,877	0,915	2,09	0,866	14,039
0,525	10,2	8	12,57	0,782	0,758	9057	8,858	0,883	0,921	2,79	1,066	18,232
0,550	9,74	8	11,46	0,752	0,718	9185	9,195	0,887	0,920	3,259	1,234	21,234
0,575	9,32	7	12,87	0,724	0,769	9190	10,456	0,882	0,920	2,680	1,241	17,420
0,600	8,93	7	11,58	0,699	0,723	9319	12,007	0,887	0,925	3,260	1,405	20,910
0,625	8,57	7	10,57	0,675	0,686	9437	13,425	0,890	0,929	3,609	1,551	23,642
0,650	8,24	7	9,76	0,653	0,657	9543	14,695	0,893	0,932	3,958	1,680	25,833
0,675	7,94	7	9,142	0,634	0,635	9633	15,781	0,896	0,934	4,307	1,786	27,504
0,700	7,66	6	10,55	0,615	0,686	9612	15,529	0,891	0,929	3,725	1,762	23,696
0,725	7,39	6	9,67	0,597	0,654	9756	17,259	0,894	0,932	4,075	1,929	26,076
0,750	7,14	6	8,97	0,581	0,629	9807	17,872	0,897	0,935	4,424	1,967	27,97
0,800	6,70	6	7,89	0,552	0,590	9967	19,796	0,901	0,939	4,889	2,166	30,891

Из приведенной таблицы видно, что до совершенствования работы подсистемы «б» среднее время восстановления составляет 13,5 суток, что гораздо выше нормативного времени простоя машин в ремонте. При таком режиме работы подсистемы показатели эффективности использования валочно-пакетирующей машины имели следующие нормативные значения:

– ресурс $t_p = 8\ 320$ моточасов;

– коэффициент технического использования $K_{ти} = 0,859$;

– коэффициент технической готовности $K_r = 0,897$.

Следует отметить, что полученное расчетное значение $t_{пр.б} = 19,3$ суток при $\alpha_{оп.} = 0,397$ согласуется с полученным экспериментальным путем значением этого параметра в пределах допустимой точности ($\Delta = 5\%$), что также подтверждает адекватность разработанной модели [13; 14; 20].

Заключение. Выполненный информационно-логический анализ работы системы позволил выявить основные причины неэффективного использования трудовых ресурсов и сверхнормативных простоев ма-

шин, что дало возможность разработать рекомендации по совершенствованию процессов ТО и ремонта лесозаготовительных и лесотранспортных машин [21; 22].

Их внедрение обеспечило повышение коэффициента оперативной работы с 0,397 до 0,525. В результате повышения эффективности использования трудовых ресурсов, как видно из табл. 2, среднее время восстановления $t_б$ сократилось до 10,2 суток, или на 24,4 %, что существенно повысило пропускную способность каналов обслуживания подсистемы. В результате последующей оптимизации количества каналов обслуживания по критерию минимума суммарных удельных издержек их количество сократилось с 9 до 8, а время пребывания каждого требования в подсистеме уменьшилось с 19,31 до 12,57 суток.

Это обусловило снижение затрат на поддержание надежности машин ($K_A = 0,782$, $K_C = 0,758$), что обеспечило увеличение ресурса на 8,86 %.

Снижение удельных простоев на 19,3 % обеспечило повышение $K_{ти}$ на 2,8 %, а K_r — на 2,6 %.

Литература

1. Саблин С.Ю., Скрыпников А.В., Высоцкая И.А., Болтнев Д.Е., Брюховецкий А.Н. Система технико-экономического обоснования геометрических элементов автомобильных дорог // Вестн. Воронежского гос. аграрного ун-та. 2021. Т. 14. № 1 (68). С. 41-45.
2. Боровлев А.О., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Тюрикова Т.В., Тверитнев О.Н., Никитин В.В. Математическое моделирование трассы лесовозных автомобильных дорог // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2021. № 4 (382). С. 150-161.
3. Скрыпников А.В., Денисенко В.В., Манцев М.В. Анализ качества модели дорожно-строительного потока при решении оптимизационных задач // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы V Междунар. науч.-практической конф., в рамках реализации Ассоциации «Технологическая платформа «Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК - продукты здорового питания» (21 мая 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 232-241.
4. Скрыпников А.В., Денисенко В.В., Щербак Е.Д. Выработка критериев качества автоматизированного проектирования автомобильных дорог // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы V Междунар. науч.-практической конф., в рамках реализации Ассоциации «Технологическая платформа «Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК - продукты здорового питания» (21 мая 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 282-293.
5. Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Samtsov V.V., Nikitin V.V., Denisenko V.V., Boltnev D.E. Theoretical background of road landscape zoning // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science «International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production», 2021. P. 012011.
6. Zelikov V.A., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Samtsov V.V., Tikhomirov P.V., Borovlev A.O. Structural models of road landscapes and microlandscapes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science «International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production», 2021. P. 012116.
7. Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Samtsov V.V., Nikitin V.V., Boltnev D.E., Borovlev A.O. Influence of natural and technogenic factors on the complexity of construction of timber highways // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science «International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production», 2021. P. 012137.
8. Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Terevleva E.V., Burmistrov V.A., Mikheevskaya M.A., Chemshikova Y.M. Algorithm for determining the curvature of the project line of a truck haul road and the rate of change in its curvature // Civil Engineering and Architecture. 2021. V. 9. № 5. P. 1582-1589.
9. Nikitin V.V., Skrypnikov A.V., Bryukhovetsky A.N., Vysotskaya I.A., Sapelkin R.S., Kozlov V.G., Manukovsky A.Y. A linear model of the forest transport network and an algorithm for assessing the influence of the density of points and the length of links in developing multi-forested areas // SSRG International Journal of Engineering Trends and Technology. 2021. V. 69. № 12. P. 175-178.
10. Чирков Е.В., Высоцкая И.А., Скрыпников А.В., Боровлев А.О., Никитин В.В. Методические рекомендации по автоматизированному проектированию трассы лесовозной автомобильной дороги с применением методов оптимизации // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 2. С. 60-65.
11. Боровлев А.О., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Тюрикова Т.В., Тверитнев О.Н., Никитин В.В. Математическое моделирование трассы лесовозных автомобильных дорог // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2021. № 4 (382). С. 150-161.
12. Манцев М.В., Денисенко В.В., Левушкин Д.М., Скрыпников А.В., Зеликов В.А., Микова Е.Ю., Казачек М.Н., Берестовой А.А. Использование модели дорожно-строительного потока для решения оптимизационных задач // Строительные и дорожные машины. 2021. № 7. С. 29-33.
13. Болтнев Д.Е., Денисенко В.В., Скрыпников А.В., Торопцев В.В., Тверитнев О.Н. Экспериментальные и теоретические зависимости пройденного пути и расхода топлива от скорости движения автомобиля на опытных участках, имеющих различные уклоны // Строительные и дорожные машины. 2021. № 7. С. 3-13.

14. Мацнев М.В., Скрыпников А.В., Торопцев В.В., Пильник Ю.Н., Левушкин Д.М., Яковлев К.А., Пилюшина Г.А., Берестовой А.А. Определение экономической эффективности от оптимизации заделов при строительстве лесовозных автомобильных дорог // Строительные и дорожные машины. 2021. № 8. С. 43-48.
15. Саблин С.Ю., Высоцкая И.А., Скрыпников А.В., Тихомиров П.В., Брюховецкий А.Н., Жук А.Ю. Формирование оптимальных схем этапного развития лесовозных автомобильных дорог // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 1 (49). С. 82-85.
16. Жук А.Ю., Саблин С.Ю., Скрыпников А.В., Болтнев Д.Е., Высоцкая И.А. Исследование математической модели рельефа местности при проектировании автомобильных дорог // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2 (50). С. 88-93.
17. Никитин В.В., Скрыпников А.В., Высоцкая И.А., Тихомиров П.В., Щербаков Е.Д., Жук А.Ю. Методы оптимизации транспортных сетей лесовозных автомобильных дорог // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 4 (52). С. 122-126.
18. Чирков Е.В., Скрыпников А.В., Боровлев А.О., Саблин С.Ю., Высоцкая И.А. Информационная модель зоны варьирования трассы лесовозной автомобильной дороги // Автоматизация. Современные технологии. 2020. Т. 74. № 12. С. 538-542.
19. Чирков Е.В., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Саблин С.Ю., Боровлев А.О. Постановка задачи проектирования оптимальной трассы лесовозной автомобильной дороги // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 11-1. С. 87-92.
20. Зеликов В.А., Скрыпников А.В., Самцов В.В., Саблин С.Ю., Боровлев А.О. Факторы, влияющие на сложность строительства ведомственных автомобильных дорог // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 2 (38). С. 114-122.
21. Рябова О.В., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Тихомиров П.В. Изучение географической среды для целей дорожного проектирования // Науч. журнал строительства и архитектуры. 2020. № 1 (57). С. 84-95.
22. Чернышова Е.В., Скрыпников А.В., Самцов В.В., Абасов М.А. Лесовозные автомобильные дороги в транспортной сети лесопромышленного предприятия // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2019. № 2 (368). С. 95-101.
23. Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Могутнов Р.В. Методы математического моделирования автомобильных дорог и их теоретические основы // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы междунар. науч.-практической конф. молодых ученых и специалистов. Воронеж, 2018. С. 347-355.
- «Tekhnologicheskaya platforma «Tekhnologii pishchevoj i pererabatyvayushchej prom-sti APK - produkty zdorovogo pitaniya» (21 maya 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 232-241.
4. Skrypnikov A.V., Denisenko V.V., SHCHerbakov E.D. Development of quality criteria for computer-aided design of roads // Sistemnyj analiz i modelirovanie processov upravleniya kachestvom v innovacionnom razvitii agropromyshlennogo kompleksa: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf., v ramkah realizacii Associacii «Tekhnologicheskaya platforma «Tekhnologii pishchevoj i pererabatyvayushchej prom-sti APK - produkty zdorovogo pitaniya» (21 maya 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 282-293.
5. Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Samtsov V.V., Nikitin V.V., Denisenko V.V., Boltnev D.E. Theoretical background of road landscape zoning // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science «International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production», 2021. P. 012011.
6. Zelikov V.A., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Samtsov V.V., Tikhomirov P.V., Borovlev A.O. Structural models of road landscapes and microlandscapes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science «International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production», 2021. P. 012116.
7. Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Samtsov V.V., Nikitin V.V., Boltnev D.E., Borovlev A.O. Influence of natural and technogenic factors on the complexity of construction of timber highways // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science «International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production», 2021. P. 012137.
8. Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Teterleva E.V., Burmistrov V.A., Mikheevskaya M.A., Chemshikova Y.M. Algorithm for determining the curvature of the project line of a truck haul road and the rate of change in its curvature // Civil Engineering and Architecture. 2021. V. 9. № 5. P. 1582-1589.
9. Nikitin V.V., Skrypnikov A.V., Bryukhovetsky A.N., Vysotskaya I.A., Sapelkin R.S., Kozlov V.G., Manukovsky A.Y. A linear model of the forest transport network and an algorithm for assessing the influence of the density of points and the length of links in developing multi-forested areas // SSRG International Journal of Engineering Trends and Technology. 2021. V. 69. № 12. P. 175-178.
10. CHirkov E.V., Vysockaya I.A., Skrypnikov A.V., Borovlev A.O., Nikitin V.V. Guidelines for automated design of a logging road using optimization methods // Automation and modern technology. 2021. V. 75. № 2. P. 60-65.
11. Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Tyurikova T.V., Tveritnev O.N., Nikitin V.V. Mathematical modeling of the route of logging roads // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2021. № 4 (382). P. 150-161.
12. Macnev M.V., Denisenko V.V., Levushkin D.M., Skrypnikov A.V., Zelikov V.A., Mikova E.YU., Kazachek M.N., Berestovoj A.A. Using the road construction flow model to solve optimization problems // Construction and Road Building Mashinery. 2021. № 7. P. 29-33.
13. Boltnev D.E., Denisenko V.V., Skrypnikov A.V., Toropcev V.V., Tveritnev O.N. Experimental and theoretical dependences of the distance traveled and fuel consumption on the speed of the vehicle in experimental areas with different slopes // Construction and Road Building Mashinery. 2021. № 7. P. 3-13.
14. Macnev M.V., Skrypnikov A.V., Toropcev V.V., Pil'nik YU.N., Levushkin D.M., YAKovlev K.A., Pilyushina G.A., Berestovoj A.A. Determination of economic efficiency from the optimization of backlogs in the construction of logging

References

1. Sablin S.YU., Skrypnikov A.V., Vysockaya I.A., Boltnev D.E., Bryuhoveckij A.N. The system of feasibility study of geometric elements of highways // Vestnik of Voronezh state agrarian university. Vestnik VSAU. 2021. V. 14. № 1 (68). P. 41-45.
2. Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Tyurikova T.V., Tveritnev O.N., Nikitin V.V. Mathematical modeling of the route of logging roads // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2021. № 4 (382). P. 150-161.
3. Skrypnikov A.V., Denisenko V.V., Mancev M.V. Analysis of the quality of the road-building flow model in solving optimization problems // Sistemnyj analiz i modelirovanie processov upravleniya kachestvom v innovacionnom razvitii agropromyshlennogo kompleksa: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf., v ramkah realizacii Associacii

- roads // Construction and Road Building Machinery. 2021. № 8. P. 43-48.
15. Sablin S.YU., Vysockaya I.A., Skrypnikov A.V., Tihomirov P.V., Bryuhoveckij A.N., ZHuk A.YU. Formation of optimal schemes for the staged development of logging roads // Systems. Methods. Technologies. 2021. № 1 (49). P. 82-85.
 16. ZHuk A.YU., Sablin S.YU., Skrypnikov A.V., Boltnev D.E., Vysockaya I.A. Investigation of the mathematical model of the terrain in the design of highways // Systems. Methods. Technologies. 2021. № 2 (50). P. 88-93.
 17. Nikitin V.V., Skrypnikov A.V., Vysockaya I.A., Tihomirov P.V., SHCherbakov E.D., ZHuk A.YU. Methods for optimizing transport networks of logging roads // Systems. Methods. Technologies. 2021. № 4 (52). P. 122-126.
 18. CHirkov E.V., Skrypnikov A.V., Borovlev A.O., Sablin S.YU., Vysockaya I.A. Information model of the variation zone of the logging road // Automation and modern technology. 2020. V. 74. № 12. P. 538-542.
 19. CHirkov E.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Sablin S.YU., Borovlev A.O. Statement of the problem of designing an optimal route for a logging road // Modern High Technologies. 2020. № 11-1. P. 87-92.
 20. Zelikov V.A., Skrypnikov A.V., Samcov V.V., Sablin S.YU., Borovlev A.O. Factors influencing the complexity of the construction of departmental highways // Forestry Engineering Journal. 2020. V. 10. № 2 (38). P. 114-122.
 21. Ryabova O.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Tihomirov P.V. Study of the geographical environment for the purposes of road design // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2020. № 1 (57). P. 84-95.
 22. CHernyshova E.V., Skrypnikov A.V., Samcov V.V., Abasov M.A. Timber highways in the transport network of a timber industry enterprise // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2019. № 2 (368). P. 95-101.
 23. Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., CHernyshova E.V., Mogutnov R.V. Methods of mathematical modeling of roads and their theoretical foundations // Innovacionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK: materialy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. molodyh uchenyh i specialistov. Voronezh, 2018. P. 347-355.