

Комплексный алгоритм аналитической обработки материалов съемки лесовозной автомобильной дороги с применением информационно-интеллектуальной системы

Н.Г. Пономарева^{1a}, А.В. Скрыпников^{2b}, В.Г. Козлов^{3c}, А.Н. Брюховецкий^{2d},
Р.С. Сапелкин^{2e}, П.В. Тихомиров^{4f}

¹ Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, 17, Архангельск, Россия

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, Воронеж, Россия

³ Воронежский государственный аграрный университет им. Петра I, ул. Мичурина, 1, Воронеж, Россия

⁴ Брянский государственный инженерно-технологический университет, пр. Станке Димитрова, 3, Брянск, Россия

^a n.ponomareva@narfu.ru, ^b skrypnikovvsafe@mail.ru, ^c vya-kozlov@yandex.ru, ^d charls5796@mail.ru,

^e bruhovecky@rambler.ru, ^f vtichomirov@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-6210-5631>, ^b <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-2571-8687>, ^d <https://orcid.org/0000-0003-4708-0645>,

^e <https://orcid.org/0000-0002-3863-7061>, ^f <https://orcid.org/0000-0003-4708-0645>

Статья поступила 13.05.2022, принята 18.05.2022

Для наиболее полной и в то же время целесообразной и эффективной фиксации осей криволинейных участков лесовозных автомобильных дорог, для определения, соответственно, оптимального количества закрепления разбивочных и контрольных знаков авторами были проведены исследования по определению детальности разбивки и контроля возведения дорожных закруглений различными методами, разработанными, проанализированными и описанными в настоящей работе. При детальной разбивке криволинейных элементов линейных сооружений степень детальности разбивки, характеризующая положение на местности проектной оси, зависит от длины разбивочного интервала. Применение компьютерных технологий при обработке полевых материалов наземной стереофотограмметрической съемки с целью определения геометрических элементов и технико-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог существенным образом может повысить эффективность изыскательских работ. Использование компьютерных технологий в камеральном процессе, при обработке материалов наземной стереофотограмметрии возможно и необходимо в связи с тем, что геометрические элементы (радиусы горизонтальных и вертикальных кривых, ширина земляного полотна и проезжей части дороги, уклоны), а также технико-эксплуатационные характеристики (видимость, ровность) лесовозных автомобильных дорог предусматривается определять аналитическим способом. Применение аналитического способа обработки материалов съемки в комплексе с компьютерными технологиями позволит также повысить точность получаемых результатов измерений. Эта особенность имеет немало важное значение при реконструкции лесовозных автомобильных дорог, так как геометрические элементы и технико-эксплуатационные характеристики дорог в этом случае должны быть получены с достаточной степенью точности дальнейшего их проектирования.

Ключевые слова: лесовозные автомобильные дороги; стереофотограмметрическая съемка; ширина дорожного полотна; блок-схема; криволинейный участок.

A complex algorithm for analytical processing of logging road survey materials using an information and intelligent system

N.G. Ponomareva^{1a}, A.V. Skrypnikov^{2b}, V.G. Kozlov^{3c}, A.N. Bryukhovetskiy^{2d},
R.S. Sapelkin^{2e}, P.V. Tikhomirov^{4f}

¹ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov; 17, Severnaya Dvina Emb., Arkhangelsk, Russia

² Voronezh State University of Engineering Technologies; Revolutsii Prospect, Voronezh, Russia

³ Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great; 1, Michurin St., Voronezh, Russia

⁴ Bryansk State University of Engineering and Technology; 3, Stanke Dimitrov Ave., Bryansk, Russia

^a n.ponomareva@narfu.ru, ^b skrypnikovvsafe@mail.ru, ^c vya-kozlov@yandex.ru, ^d charls5796@mail.ru,

^e bruhovecky@rambler.ru, ^f vtichomirov@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-6210-5631>, ^b <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-2571-8687>, ^d <https://orcid.org/0000-0003-4708-0645>,

^e <https://orcid.org/0000-0002-3863-7061>, ^f <https://orcid.org/0000-0003-4708-0645>

Received 13.05.2022, accepted 18.05.2022

For the most complete and at the same time expedient and effective fixation of the axes of curved sections of logging roads, to determine, respectively, the optimal amount of fixing of center and control signs, the studies are conducted to determine the detail of the breakdown and control of the construction of road signs by various methods developed, analyzed and described in this work. With a detailed breakdown of curved elements of linear structures, the degree of detail of the breakdown, characterizing the position of the design axis on the ground, depends on the length of the center interval. The use of computer technologies in the processing of field materials of ground-based stereophotogrammetric survey in order to determine the geometric elements and technical and operational characteristics of logging roads can significantly increase the efficiency of survey work. The use of computer technologies in the office process, when processing materials of ground stereophotogrammetry is possible and necessary due to the fact that geometric elements (radii of horizontal and vertical curves, width of the roadbed and carriageway, slopes), as well as technical and operational characteristics (visibility, evenness) of logging roads are provided to be determined analytically in a way. The use of an analytical method for processing survey materials in combination with computer technologies will also improve the accuracy of the measurement results obtained. This feature is of considerable importance in the reconstruction of logging roads, since the geometric elements and technical and operational characteristics of roads in this case must be obtained with a sufficient degree of accuracy of their further design.

Keywords: logging highways; stereophotogrammetric survey; width of the roadway; block diagram; curved section.

Введение. При производстве обследований лесовозных автомобильных дорог с целью их реконструкции необходимо в большом количестве выполнять самые разнообразные вычислительные операции как непосредственно в полевых условиях, так и в камеральных. В условиях реконструкции лесовозных автомобильных дорог это связано в первую очередь с определением геометрических элементов и технико-эксплуатационных характеристик существующих дорог. Применение компьютерных технологий при обработке полевых материалов наземной стереофотограмметрической съемки с целью определения геометрических элементов и технико-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог существенным образом может повысить эффективность изыскательских работ.

Постановка задачи. Использование компьютерных технологий в камеральном процессе, при обработке материалов наземной стереофотограмметрии возможно и необходимо в связи с тем, что геометрические элементы (радиусы горизонтальных и вертикальных кривых, ширина земляного полотна и проезжей части дороги, уклоны), а также технико-эксплуатационные характеристики (видимость, ровность) лесовозных автомобильных дорог предусматривается определять аналитическим способом. Применение аналитического способа обработки материалов съемки в комплексе с компьютерными технологиями позволит также повысить точность получаемых результатов измерений. Эта особенность имеет немаловажное значение при реконструкции лесовозных автомобильных дорог, так как геометрические элементы и технико-эксплуатационные характеристики дорог в этом случае должны быть получены с достаточной степенью точности дальнейшего их проектирования.

Методика исследования. Аналитическую обработку материалов наземной стереофотограмметрии на компьютере для определения геометрических элементов и технико-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог предусматривается выполнять по следующей схеме: НСС дороги – получение стереоскопической модели местности – измерение координат x_{1i} и продольных параллаксов точек дороги на левом снимке – определение геометрических элементов и технико-эксплуатационных характеристик дорог на компьютере.

С целью определения геометрических элементов и технико-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог разработана комплексная программа аналитической обработки материалов наземной сте-

реофотограмметрической съемки. Данная программа позволяет определять радиусы горизонтальных и вертикальных кривых дорог, ширину земляного полотна (проезжую часть, полосу отвода) дороги, углы наклона и уклоны участков дорог, координаты главных точек кривых, видимость на закруглении (при отсутствии видимости на закруглении — определять площадь и объем необходимой срезки), а применительно к каждой задаче можно определять номер технической категории дорог. Алгоритм программы разработан с учетом требований к определению геометрических элементов и технико-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог.

Программа позволяет выполнить следующие функции:

- произвести расчеты для определения радиусов горизонтальных кривых, радиусов вогнутых и выпуклых вертикальных кривых, координат точек начала и конца кривой, определении углов наклона, продольных уклонов, ширины земляного полотна (проезжей части) лесовозной автомобильной дороги, определении расстояний видимости на закруглениях дорог, площадей и объемов срезов при отсутствии видимости на закруглении;

- при расчетах расстояний видимости, ширины проезжей части, углов наклона и продольных уклонов, а также радиусов вогнуты и выпуклых кривых автоматически производится вычисление средних значений указанных величин;

- определяется техническая категория участков дороги для вычисленных радиусов горизонтальных кривых, радиусов выпуклых и вогнутых вертикальных кривых, ширины земляного полотна (проезжей части) лесовозной автомобильной дороги, расстояний видимости, продольных уклонов.

Планирование выполнения программ заключается в составлении списка управляющих фраз ввода, которые определяют соответствие данных вычисляемым характеристикам лесовозной автомобильной дороги.

Программа контролирует корректность списка управляющих фраз ввода, а также выполняет контроль входных данных и исключает из обработки данные, не удовлетворяющие установленным требованиям.

На рис. 1–9 представлены блок-схемы алгоритмов программы.

Программа использует входной набор данных, который содержит управляющие данные и данные, необходимые непосредственно для расчетов.

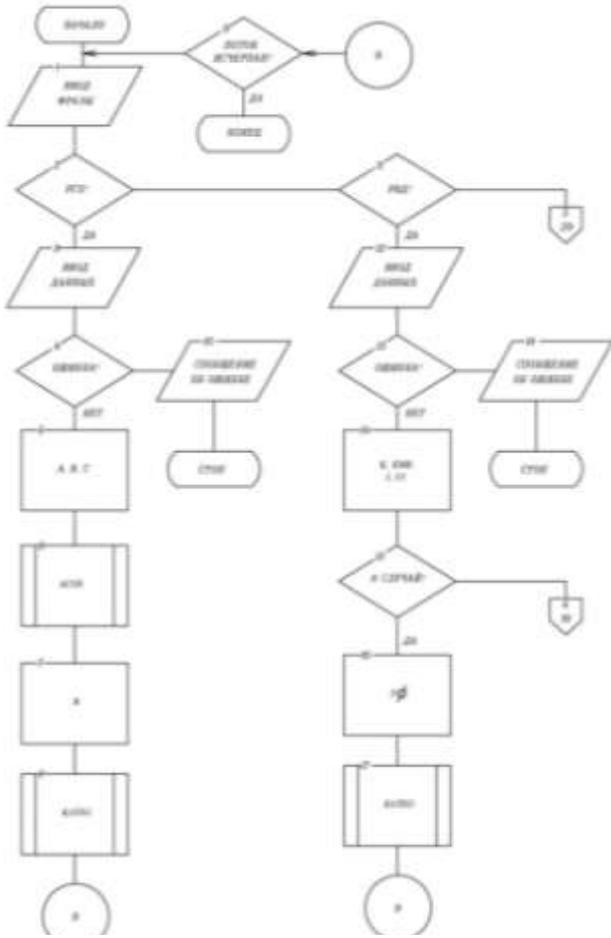


Рис. 1. Блок-схема программы

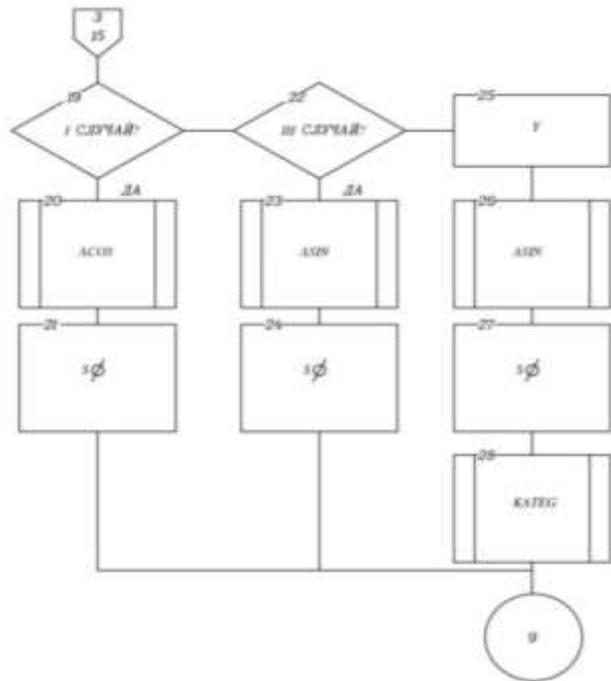


Рис. 2. Блок-схема подпрограммы

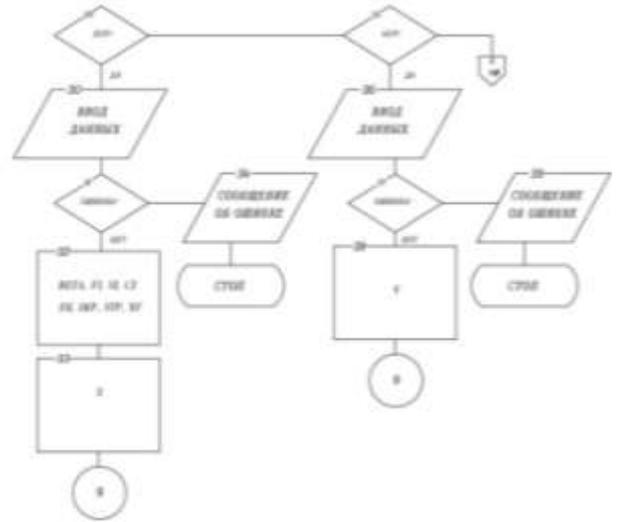


Рис. 3. Блок-схема подпрограммы

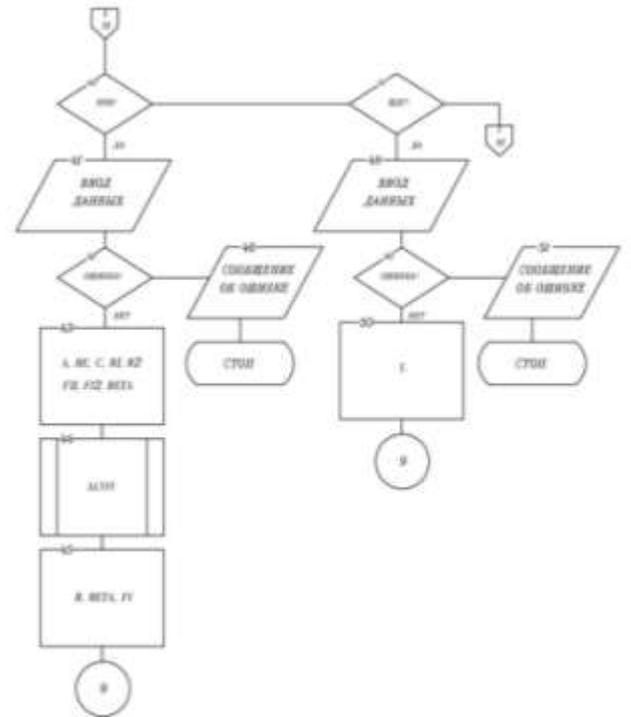


Рис. 4. Блок-схема подпрограммы

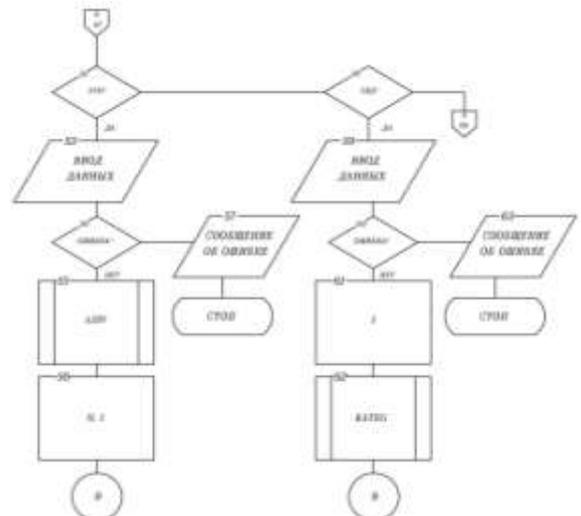


Рис. 5. Блок-схема подпрограммы

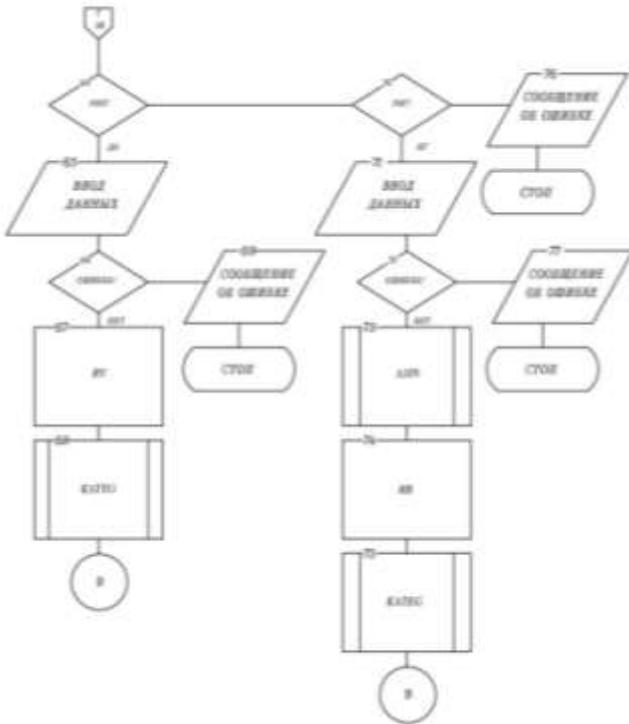


Рис. 6. Блок-схема подпрограммы

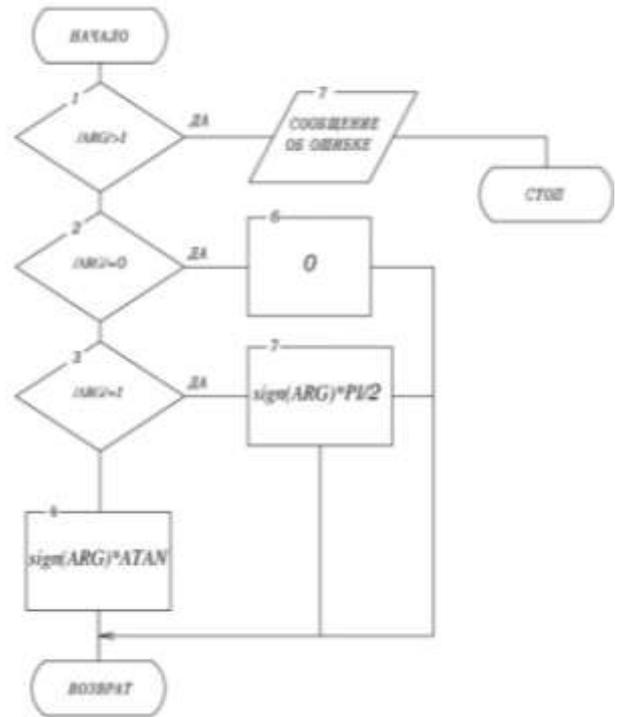


Рис. 8. Блок-схема подпрограммы

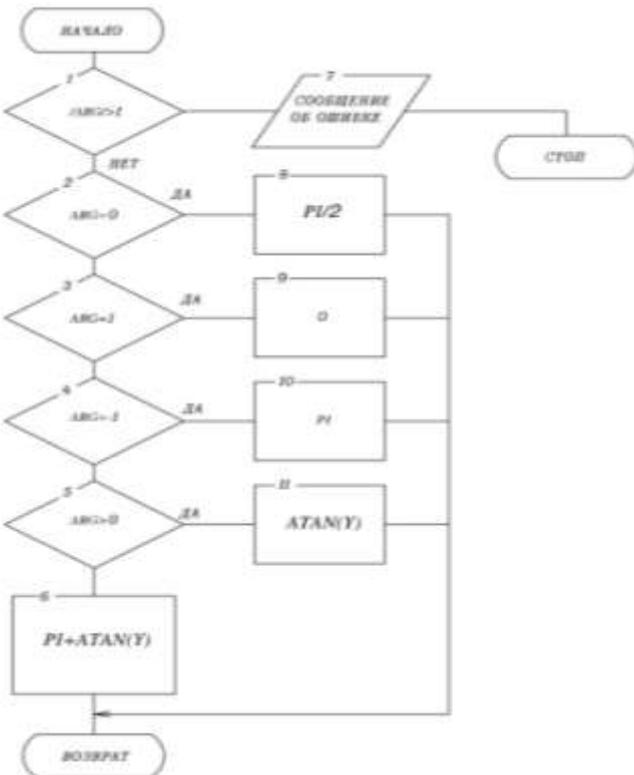


Рис. 7. Блок-схема подпрограммы

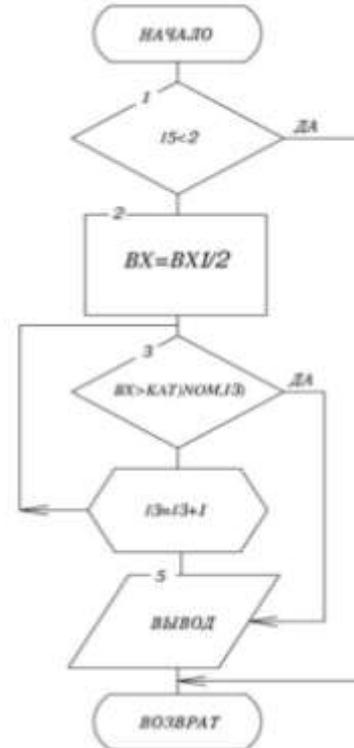


Рис. 9. Блок-схема программы

В таблице представлены соответствия имен переменных, присутствующих в формулах для расчетов параметров, и имен переменных во входном потоке программы.

Таблица. Соответствия имен переменных, присутствующих в формулах

Обозначение в формуле	Назначение	Единицы измерения	Имя во входном потоке программ
b	Базис фото-, видео-фиксации	<i>м</i>	B
f_k	Фокусное расстояние камеры	<i>мм</i>	F
x_{1i} x_{1i+1} x_{1i+2} x_{1i+3}	Координаты измеренные на левом снимке точек $i, i+1, i+2, i+3$	<i>мм</i> <i>мм</i>	X X1 X2 X3
p_i p_{i+1} p_{i+2} p_{i+3}	Продольные параллаксы точек $i, i+1, i+2, i+3$	<i>мм</i>	P P1 P2 P3
z_{1i} z_{1i+1} z_{1i+2}	Координаты, измеренные на левом снимке точек $i, i+1, i+2$	<i>мм</i>	Z Z1 Z2
α	Угол поворота трассы	<i>град.</i>	ALFA
z_{1i} ($i = 1, 2, 3, \dots, 1\emptyset$)	Координаты, измеренные на левом снимке точек	<i>мм</i>	Z1(i) ($i = 1, 2, 3, \dots, 1\emptyset$)
p_i ($i = 1, 2, 3, \dots, 1\emptyset$)	Продольные параллаксы точек	<i>мм</i>	PI (i) ($i = 1, 2, 3, \dots, 1\emptyset$)
R_i^r	Радиус горизонтальной кривой	<i>м</i>	RG
S_{cp}	Площадь срезки	<i>м²</i>	S
$\nu_{тр}^0$	Угол наклона	<i>град.</i>	N

Заключение. Анализируя результаты проведенных исследований состояний системы совершенствования геометрического контроля строительства дорожных закруглений, можно констатировать, что при разбивке и контроле строительства дорожных кривых примененной кривизны необходимо принимать разбивочные интервалы неодинаковыми по длине, обратно пропорциональными кривизне участка. Это позволяет сократить количество разбивочных знаков, измерений и построений и в

то же время повысить эффективность и качество разбивочно-контрольных и дорожно-строительных работ.

Разработанный бестабильный метод прямых угловых засечек позволяет оперативно восстанавливать в процессе строительства закруглений разбивочные знаки без дополнительных закреплений, предварительных вычислений, таблиц и линейных измерений, что обеспечивает непрерывность контроля поточного строительства, улучшает динамические и эстетические характеристики построенных лесовозных автомобильных дорог.

Литература

1. Боровлев А.О., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Никитин В.В., Брюховецкий А.Н., Бульгин Н.Н. Оценка плавности лесовозных автомобильных дорог // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы нац. науч.-практической конф. (29-30 апр. 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 371-381.
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. Микова Е.Ю., Никитин В.В., Тихомиров П.В., Брюховецкий А.Н., Высоцкая И.А., Тимофеев В.А. Формирование цифровой модели лесовозной автомобильной дороги // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: материалы нац. науч.-практической конф. (25 сент. 2020 г.). Воронеж, 2020. С. 242-247.
4. Lawrence C.J. The use Landsat imagery as a basis for materials inventories and terrain maps // TRRL Suppl.rept. 1982. № 690. P. 117-121.
5. Курьянов В.К. Автоматизированный расчет транспортной составляющей себестоимости перевозок в САПР АД. Рукоп. деп. в ВИНТИ № 1073-B2004. 23.06.2004.
6. Курьянов В.К. Надежность системы водитель-автомобиль-дорога-среда // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: межвузовский сб. науч. тр. Воронеж: Воронежская гос. лесотехническая акад., 2005. С. 266-269.
7. Морозов П.И. Проектирование и планирование обустройства лесовозных автомобильных дорог // Лесотехнический журнал. 2011. № 2. С. 36-41.
8. Павлов Ф.А., Чельшева Т.В. Оценка прочности дорожной одежды, ослабленной оттаявшим весной слоем земляного полотна // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2007. № 4. С. 53-57.
9. Самцов В.В., Никитин В.В., Брюховецкий А.Н., Щербачев Е.Д., Боровлев А.О., Болтнев Д.Е., Мацнев М.В. Сложность строительства лесовозных автомобильных дорог с учетом техногенных факторов // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: материалы нац. науч.-практической конф. (25 сент. 2020 г.). Воронеж, 2020. С. 559-567.
10. Кероглу Л.А. Исследование пропускной способности автомобильных дорог. М.: Автогиздат, 1963. 66 с.

11. Хромых В.В., Хромых О.В. Цифровые модели рельефа. Томск: НТЛ, 2011. 188 с.
12. Быстрянец Е.В. Исследование технологии экспертной оценки качества информационного обеспечения автомобильного транспорта // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Т. 71. № 9. С. 429-432.
13. Оптнер С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М.: Советское радио, 1969. 216 с.

References

1. Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Nikitin V.V., Bryuhoveckij A.N., Bulygin N.N. Assessment of the smoothness of logging roads // Teoriya i praktika innovacionnyh tekhnologij v APK: materialy nac. nauch.-prakticheskoy konf. (29-30 apr. 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 371-381.
2. Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Tyurikova T.V., Tveritnev O.N., Nikitin V.V. Mathematical modeling of the logging highway route // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2021. № 4 (382). P. 150-161.
3. Mikova E.YU., Nikitin V.V., Tihomirov P.V., Bryuhoveckij A.N., Vysockaya I.A., Timofeev V.A. Formation of a digital model of a logging road // Mekhanizaciya i avtomatizaciya tekhnologicheskikh processov v sel'skohozyajstvennom proizvodstve: materialy nac. nauch.-prakticheskoy konf. (25 sent. 2020 g.). Voronezh, 2020. P. 242-247.
4. Lawrence C.J. The use Landsat imagery as a basis for materials inventories and terrain maps // TRRL Suppl.rept. 1982. № 690. P. 117-121.
5. Kur'yanov V.K. Automated calculation of the transport component of the cost of transportation in CAD AD. Rukop. dep. v VINITI № 1073-V2004. 23.06.2004.
6. Kur'yanov V.K. Reliability of the driver-car-road-environment system // Matematicheskoe modelirovanie, komp'yuternaya optimizaciya tekhnologij, parametrov oborudovaniya i sistem upravleniya lesnogo kompleksa: mezhvuzovskij sb. nauch. tr. Voronezh: Voronezhskaya gos. lesotekhnicheskaya akad., 2005. P. 266-269.
7. Morozov P.I. Design and planning of arrangement of logging roads // Forestry Engineering Journal. 2011. № 2. P. 36-41.
8. Pavlov F.A., CHelysheva T.V. Assessment of the strength of the pavement weakened by the thawed layer of the roadbed in the spring // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2007. № 4. P. 53-57.
9. Samcov V.V., Nikitin V.V., Bryuhoveckij A.N., SHCHerbakov E.D., Borovlev A.O., Boltnev D.E., Macnev M.V. The complexity of the construction of logging roads taking into account man-made factors // Mekhanizaciya i avtomatizaciya tekhnologicheskikh processov v sel'skohozyajstvennom proizvodstve: materialy nac. nauch.-prakticheskoy konf. (25 sent. 2020 g.). Voronezh, 2020. P. 559-567.
10. Keroglu L.A. Investigation of the capacity of highways. M.: Avtotransizdat, 1963. 66 p.
11. Hromyh V.V., Hromyh O.V. Digital terrain models. Tomsk: NTL, 2011. 188 p.
12. Bystryancev E.V. Research of the technology of expert assessment of the quality of information support of motor transport // Automation and modern technology. 2017. V. 71. № 9. P. 429-432.
13. Optner S. System analysis for solving business and industrial problems. M.: Sovetskoe radio, 1969. 216 p.