

УДК 630\*31:338.2

**АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СКОРОСТЬ АВТОЛЕСОВОЗОВ****<sup>1</sup>Мохирев А.П., <sup>2</sup>Рукомойников К.П., <sup>2</sup>Мазуркин П.М.***<sup>1</sup>Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», Лесосибирск, e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru;**<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола*

Одним из ключевых производственных параметров лесозаготовительного процесса является скорость движения лесовозов при вывозке древесины с лесосеки. От нее зависит максимально возможный объем заготовленной древесины. На скорость движения лесовоза влияет множество природно-производственных факторов. Целью настоящих исследований является определение значимости факторов, влияющих на скорость движения автолесовоза. Для выявления наиболее значимых факторов, влияющих на скорость лесовозов при вывозке древесины, применен метод идентификации закономерностей в виде последовательности асимметричных вейвлет-сигналов. Анализировался 31 фактор влияния на скорость лесовоза в семи подсистемах. Идентификация влияния множества выполнена двумя способами: 1) выявление однофакторных закономерностей парных влияний типа «фактор – скорость», автоматическое получение адекватности выявленной закономерности по коэффициенту корреляции в программной среде CurveExpert-1.40, а затем ранжирование факторных связей по убыванию значений коэффициента корреляции; 2) после выполнения п. 1 первая закономерность с максимальным коэффициентом корреляции принимается без изменения, а затем последовательно выполняется идентификация путем подстановки в остатки (ордината – скорость) от предыдущей формулы последующей в рейтинге однофакторной модели (абсцисса). В идентификации закономерностей были использованы измеренные данные о скорости движения автолесовозов при вывозке древесины с лесной территории на береговые нижние склады во время лесозаготовительного сезона 2019–2020 гг. по территории Мотыгинского и Енисейского лесничеств Красноярского края. Выполнено 162 измерения в различных природно-производственных условиях. В исследовании определены наиболее значимые группы факторов и отдельные параметры, влияющие на скорость автолесовоза. Выявлено, что наиболее значимые факторы характеризуют дорожное покрытие.

**Ключевые слова:** скорость лесовоза, природно-производственные условия, коэффициент корреляции, идентификация закономерностей, значимость фактора

**ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE SPEED OF LOGGING TRUCKS****<sup>1</sup>Mokhirev A.P., <sup>2</sup>Rukomoynikov K.P., <sup>2</sup>Mazurkin P.M.***<sup>1</sup>Lesosibirsk Branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,**Lesosibirsk, e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru;**<sup>2</sup>Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola*

One of the key production parameters of the logging process is the speed of movement of log trucks when removing wood from the cutting area. The maximum possible volume of harvested wood depends on it. Many natural and industrial factors affect the speed of a timber truck. The purpose of this research is to determine the significance of factors that affect the speed of a logging truck. To identify the most significant factors that affect the speed of logging trucks when removing wood, the method of identifying patterns in the form of a sequence of asymmetric wavelet signals is used. We analyzed 31 factors affecting the speed of the timber carrier in seven subsystems. There are two ways to identify the influence of a set: 1) identification of one – factor regularities of paired influences of the «factor-speed» type, automatic obtaining of the adequacy of the calculated regularity by the correlation coefficient in the CurveExpert-1.40 software environment, and then ranking of factor relationships in descending order of the correlation coefficient values; 2) after performing p. 1 the first pattern with the maximum correlation coefficient is accepted without change, and then identification is performed sequentially by substituting the remainder (ordinate – rate) from the previous formula of the subsequent one-factor model in the rating (abscissa). In order to identify the patterns, we used measured data on the speed of logging trucks when transporting wood from the forest area to the lower coastal warehouses during the 2019-2020 logging season on the territory of the Motygin and Yenisey forest districts of the Krasnoyarsk territory. 162 measurements were made in various natural and industrial conditions. The study identified the most significant groups of factors and individual parameters that affect the speed of a logging truck. It is revealed that the most significant factors characterize the road surface.

**Keywords:** logging truck speed, natural and production conditions, correlation coefficient, identification of regularities, significance of the factor

Скорость движения лесовозов при вывозке древесины с лесосеки является одним из ключевых производственных параметров [1–4]. От нее зависит максимально возможный объем заготовленной древеси-

ны. На скорость движения лесовоза влияют множество факторов.

Классификация факторов – крайне сложная задача, особенно с учетом их зависимостей и взаимообусловленностей.

Тем не менее многие современные авторы успешно решают данную задачу и приводят различные примеры систематизации факторов. Одним из выводов, отмечаемым многими исследователями, следует признать необходимость осуществления заготовки и вывозки древесины в зимний период при неблагоприятных почвенно-грунтовых условиях [5–8]. Обращаясь к одному из вариантов классификации, можно разделить природно-производственные условия на две группы: внутренние и внешние. Первые из них определяются конкретной структурной схемой и организацией ее использования. В частности, ими могут быть: производственные условия, основные параметры и конструктивные особенности машин. Очевидно, что внутренние факторы напрямую зависят от способа организации производственного процесса. В то же время управление внешними крайне затруднительно, а зачастую и вовсе невозможно [9]. Вследствие этого возникает потребность минимизации их влияния [10].

Для организации наиболее эффективных мероприятий по воздействию на неблагоприятные факторы проводят факторный анализ. Он выявляет наиболее значимые параметры, на которые стоит влиять для улучшения производственных показателей.

Целью настоящих исследований является определение значимости факторов, влияющих на скорость движения автолесовоза.

#### Материалы и методы исследования

Существует множество методик факторного анализа. В данных исследованиях для выявления наиболее значимых факторов, влияющих на скорость лесовозов при вывозке древесины, применен метод идентификации закономерностей. Последовательность действий выполнялась по технологии [11]. Сначала приводится статистическая выборка по парам «фактор – скорость». Далее проводится идентификация нелинейного двухчленного тренда, как частного случая асимметричного вейвлета [12]. При этом в данной задаче бинарные связи появляются между факторами и одного зависимого показателя.

В процессе идентификации по принципу от простого к сложному из математических инвариантов (фрагментов) [13] составляется сложное алгебраическое уравнение. Фрагменты могут быть использованы как со знаком «+», так и «-». Инварианты колебательных возмущений в виде асимме-

тричных вейвлет-сигналов также включают в себя конструкты как амплитуда (половина) и полупериод. По составленным уравнениям автоматически выполняется в программной среде CurveExpert-1.40 поиск значения параметров модели в виде однофакторной зависимости.

После выявления закономерностей всех пар «фактор – скорость» по значениям коэффициентов корреляции выполняется ранжирование формул по убыванию адекватности. Выбор первого в рейтинге уравнения проводится по наибольшему коэффициенту корреляции. Тогда факторы ранжируются по их значимости по мере уменьшения коэффициента корреляции.

Для построения многофакторной модели, аналогично предыдущим расчетам, составляется уравнение и производится расчет наиболее значимого фактора. Полученная зависимость записывается, а в полученные остатки, как переменная ставится второй по значимости параметр и т.д. Таким образом, просчитываются все показатели, участвующие в моделировании. Получаемое адаптивное уравнение будет являться многофакторной моделью. Все расчеты проводятся с использованием программной среды CurveExpert-1.40. По значениям коэффициентов корреляции определяется значимость и соответственно ранг параметра.

Для определения зависимости включаются следующие подсистемы с группами параметров, влияющих на скорость движения лесовоза:

– время измерения: X1 – номер месяца в году, X2 – номер суток в месяце, X3 – номер часа в сутках;

– приведенные координаты участка: X4 – широта, X5 – долгота, X6 – высота над уровнем моря, м;

– параметры водителя: X7 – стаж работы водителя, лет, X8 – возраст водителя, лет, X9 – время в пути, ч;

– параметры лесовоза: X10 – колесная формула автолесовоза (0 – 6x6, 1 – 6x4), X11 – грузоподъемность автолесовоза, т, X12 – тип кузова автолесовоза (1 – тягач, 2 – прицеп, 3 – полуприцеп), X13 – время эксплуатации автолесовоза, лет, X14 – мощность двигателя автолесовоза, л.с., X15 – пробег автолесовоза, тыс. км, X16 – время, пройденное с капремонта автолесовоза, мес., X17 – нагруженность автолесовоза (масса груза / грузоподъемность), X18 – тип шин на автолесовозе (0 – 425/85 r21; 1 – 14.00/r20 xml);

– характеристика дорожного покрытия: X19 – тип покрытия дороги (0 – без покрытия; 1 – гравий; 2 – асфальт), X20 – ширина дороги, м, X21 – время эксплуатации дороги с момента строительства, лет, X22 – количество капитальных ремонтов дороги с момента ее строительства, шт., X23 – уклон дороги, ‰;

– состояние покрытия: X24 – влажность покрытия дороги (0 – сухое; 1 – влажное; 2 – сырое; 3 – мокрое; 4 – насыщенное водой), X25 – вид снежно-ледяного покрытия дороги (0 – без снега; 1 – уплотненный снег; 2 – снежное сухое; 3 – мокрый снег; 4 – снежно-ледяное);

– метеорологические данные: X26 – температура воздуха, °С, X27 – атмосферное давление, мм рт. ст., X28 – относительная влажность на высоте 2 м, %, X29 – скорость ветра, м/с, X30 – горизонтальная дальность видимости, км, X31 – количество осадков, выпавших за 12 ч, мм.

Параметры объединены в группы факторов на причинно-следственной диаграмме (рис. 1).

В ходе исследования использованы данные о скорости движения автолесовозов при вывозке древесины с лесной территории на береговые нижние склады во время лесозаготовительного сезона 2019–2020 гг. по территории Мотыгинского и Енисейского лесничеств Красноярского края.

Для выявления зависимостей скорости автолесовоза от всех рассматриваемых факторов, а также многофакторной модели, выполнено 162 наблюдения, заключающихся в измерениях скорости лесовоза в различных природно-производственных условиях. Исследования проводились при условиях: участок без поворотов более 300 м, анализируемый уклон постоянный на этом участке. При этом достигается равномерная скорость на участке.

#### Результаты исследования и их обсуждение

С использованием программной среды CurveExpert-1.40 по каждому фактору получены однофакторные зависимости с коэффициентами корреляции. Наибольшее значение по оценке коэффициента корреляции получено у фактора X19 (тип покрытия). В соответствии с методикой производим расчет, начиная в общем аддитивном уравнении именно с фактора X19, затем в остатки от X19 как переменная ставится параметр X20 (второй по значимости) и т.д. Таким образом, учтены

в последующих членах многофакторного уравнения все составляющие в рейтинге переменные.

После моделирования многофакторной модели снова был выполнен рейтинг по убыванию коэффициента корреляции у членов многофакторной модели. На диаграмме (рис. 2) представлен рейтинг по убыванию коэффициента корреляции, выполненный с учетом волновых составляющих многофакторной модели.

Наиболее значимым фактором, с сильным уровнем связи [12], оказался «Тип покрытия». Данный показатель характеризовался тремя категориями: без покрытия, грунтовое покрытие и асфальтовое покрытие. Именно эти характеристики в значительной степени влияют на скорость движения автолесовоза. Значимым фактором (слабый уровень связи) также является уклон дороги. Значимость данных факторов объясняется увеличением сопротивлений движителя при снижении качества дорожного покрытия и (или) увеличении уклона дороги.

Некоторые параметры связаны с расположением анализируемых маршрутов. Транспортные пути протягиваются от складских терминалов, которые находятся на берегах рек Ангара и Енисей, вглубь лесосырьевых баз. При этом при увеличении расстояния от терминалов увеличивается высота над уровнем моря (и, соответственно, атмосферное давление (X27)), широта (X4), а также ухудшается дорога (тип покрытия (X19), ее ширина (X20)), увеличивается время в пути (X9).

Распределение групп факторов представлено на рис. 3.

Анализируя диаграмму, изображенную на рис. 3, а, можно сказать, что наиболее значимой является группа факторов, характеризующая дорожное покрытие. По среднему значению коэффициента корреляции (рис. 3, б) можно утверждать, что в данной группе находятся самые значимые параметры.

По суммам коэффициентов корреляции (рис. 3, а) значимыми группами факторов также являются метеорологические данные и параметры лесовоза. Однако средние значения коэффициентов корреляции группы параметров лесовоза на предпоследнем месте, что говорит об их слабой значимости.

Полученные результаты согласуются с исследованиями других авторских коллективов.

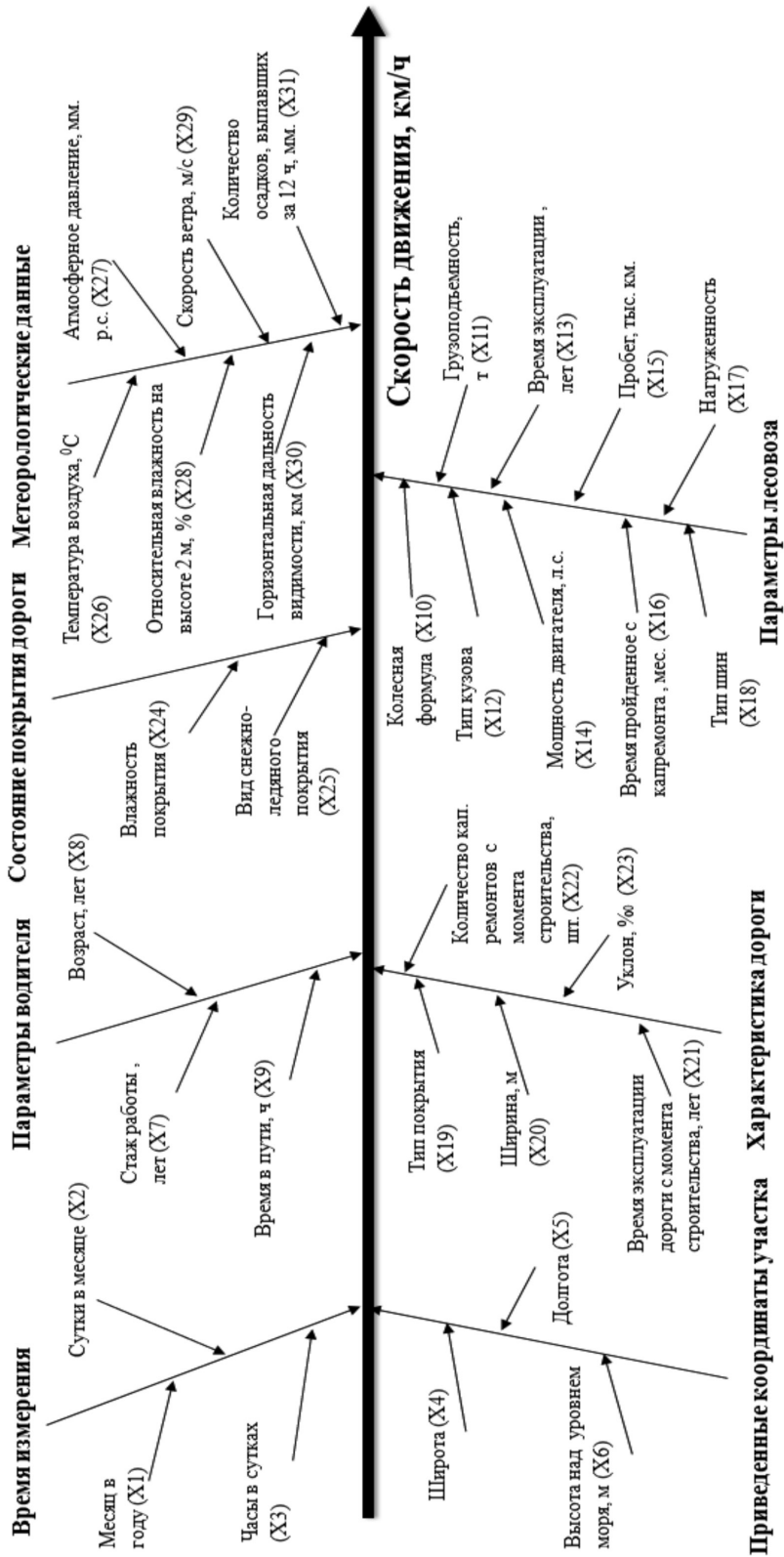


Рис. 1. Причинно-следственная диаграмма (в скобках обозначение параметра)

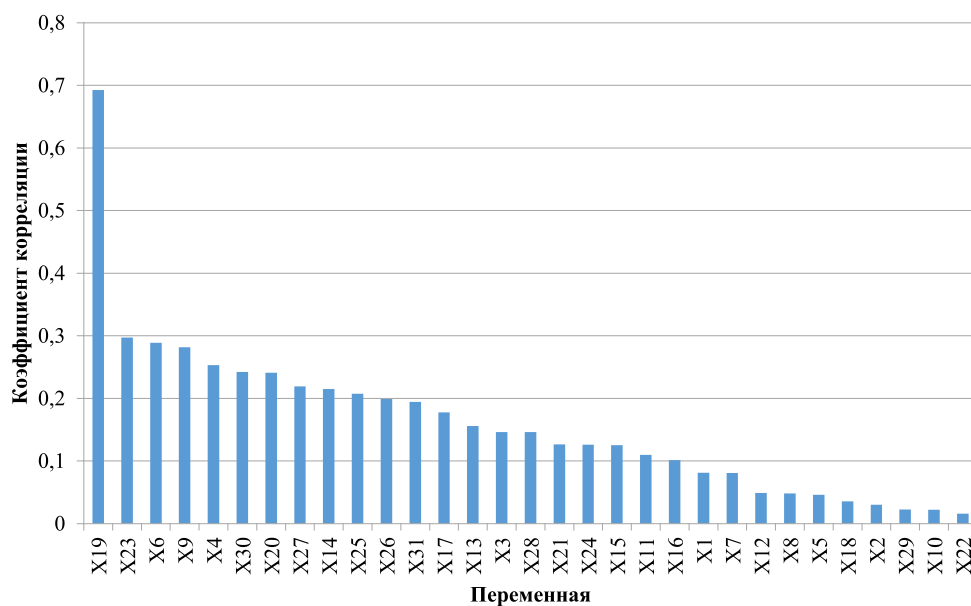


Рис. 2. Переменные, ранжированные по убыванию коэффициентов корреляции

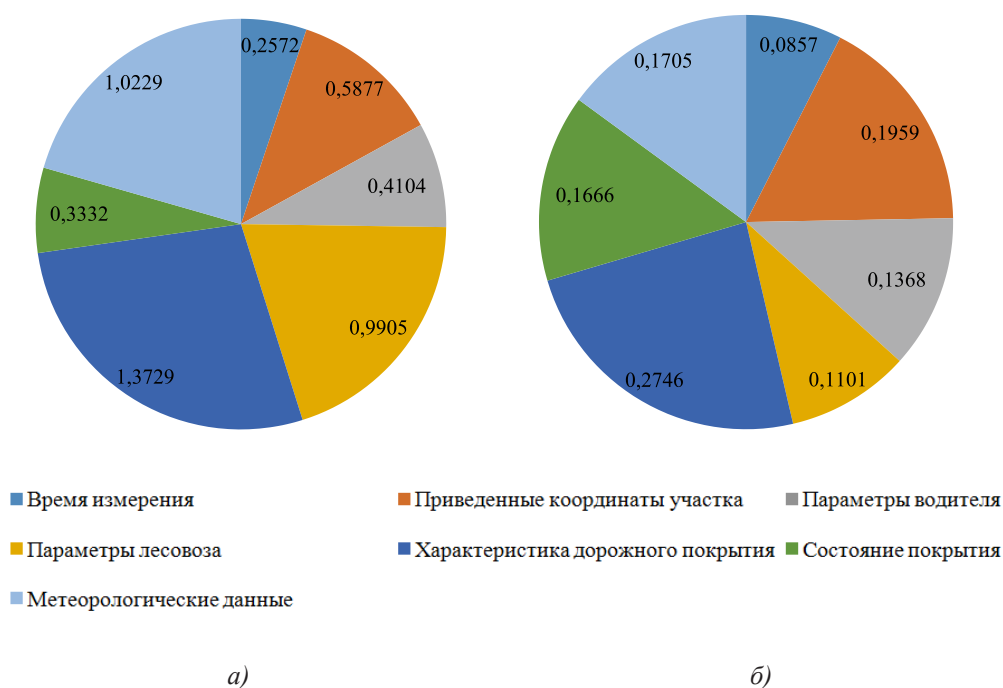


Рис. 3. Распределение значимости групп факторов: а) по сумме коэффициентов корреляции; б) по средним значениям коэффициентов корреляции

### Заключение

Представленные материалы систематизируют накопленные к настоящему времени знания по исследуемым вопросам, а также предлагают ряд новых подходов к оценке скорости лесовозного транспорта

в зависимости от различных природно-производственных условий. Предложенная методика показала свою работоспособность при выявлении наиболее значимых факторов. Выявлены наиболее значимые группы факторов и отдельные параметры, влияющие на скорость лесовозного автотранспор-



та при вывозке древесины с лесосеки. Для дальнейших исследований, с целью снижения трудозатрат на сбор исходной информации и расчет, целесообразно многие анализируемые факторы объединить.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта: «Исследование и моделирование процессов развития экономики лесной промышленности региона в контексте природно-климатических условий и ресурсного потенциала», № 18-410-240003.*

### Список литературы / References

1. Grigorev I.V., Khitrov E.G., Kalistratov A.V., Stepanischeva M.V. Dependence of filtration coefficient of forest soils to its density. Proceedings of the 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconferences, Vol. 2 «Water Resources. Marine and Ocean Ecosystems», 16–26 June 2014, Albena, Bulgaria, P. 339–344.
2. Mokhirev A., Ryabova T., Pozdnyakova M. Comprehensive evaluation of technological measures for increasing availability of wood resources. Journal of Applied Engineering Science. 2018. № 16 (4). P. 565–569. DOI: 10.5937/jaes16-18842.
3. Козлов В.Г. Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния климата и погоды на условия движения: дис. ... докт. техн. наук. Архангельск, 2017. 406 с.  
Kozlov V.G. Methods, models and algorithms for designing logging roads taking into account the Influence of climate and weather on traffic conditions: dis. ... dr. techn. sciences'. Arkhangelsk, 2017. 406 p.
4. Henningsson M., Karlsson J., Rönnqvist M. Optimization models for forest road upgrade planning. Journal of Mathematical Models and Algorithms. 2007. № 6 (1). P. 3–23.
5. 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.  
Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Dorokhin S.V. Influence of traffic conditions on the speed modes of transport flows during wood removal // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2014. № 4. P. 153 (in Russian).
6. Коваленко Т.В., Коточигов М.В. Использование климатической информации для организации транспортного освоения лесных массивов // Технология и оборудование лесопромышленного комплекса: сборник научных трудов. Выпуск 6. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. С. 104–108.  
Kovalenko T.V., Kotochigov M.V. Use of climate information for the organization of transport development of woodlands // Tekhnologiya i oborudovanie lesopromyshlennogo kompleksa: sbornik nauchnyh trudov. Vypusk 6. SPb.: SPbGLTU, 2013. P. 104–108 (in Russian).
7. 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.  
Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Dorokhin S.V. Influence of traffic conditions on high-speed modes of transport flows during wood removal // Modern science-intensive technologies. 2014. No. 4. P. 153 (in Russian).
8. 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.  
Mel'nik M.A., Volkova E.S. Seasonal differentiation of dangerous and adverse natural phenomena for the sphere of forest management in the Tomsk region // Vestnik SGUGiT. 2019. № 24. P. 229–237 (in Russian).
9. Морозов Е.В., Шегельман И.Р. О применении вероятностного моделирования для анализа некоторых технологических процессов лесозаготовок // Глобальный научный потенциал. 2011. № 9. С. 67–71.  
Morozov E.V., Shegelman I.R. On the application of probabilistic modeling for the analysis of some technological forest harvesting processes // Global'nyu nauchnyu potentsial. 2011. № 9. P. 67–71 (in Russian).
10. Демаков Д.В. Анализ исследований в области моделирования технологических процессов лесозаготовок // Перспективы науки. 2012. № 9 (36). С. 98–100.  
Demakov D.V. Analysis of research in the sphere of modeling of technological processes of forest harvesting // Perspektivy nauki. 2012. № 9 (36). P. 98–100 (in Russian).
11. Мазуркин П.М. Экономико-статистическое моделирование: учеб. пос. с грифом УМО РАЕ. Йошкар-Ола: Поволжский ГТУ, 2016. 276 с.  
Mazurkin P.M. Economic and statistical modeling: textbook with a stamp UMO RAE. Yoshkar-Ola: Povolzhskiy GTU, 2016. 276 p. (in Russian).
12. Мазуркин П.М., Сафин Р.Г., Просвирников Д.Б. Статистическое моделирование процессов деревообработки: учебное пособие с грифом УМО МГУЛ. Казань: КНИТУ, 2014. 290 с.  
Mazurkin P.M., Safin R.G., Prosvirnikov D.B. Statistical modeling of woodworking processes: textbook with a signature stamp UMO MSFU. Kazan: KNITU, 2014. 290 p. (in Russian).
13. Мазуркин П.М. Биотехнический закон и виды факторных связей // Успехи современного естествознания. 2009. № 9. С. 152–156.  
Mazurkin P.M. Biotechnical law and types of factor relations // Uspekhii sovremennogo yestestvoznaniya. 2009. No. 9. P. 152–156 (in Russian).