

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 625.711.84: 630*9

DOI: 10.18324/2077-5415-2021-4-57-62

Математическая модель определения эффективности доставки сил и средств пожаротушения с учетом уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда

Р.Н. Ковалев^{1a}, И.М. Еналеева-Бандура^{2b}, А.Н. Баранов^{2c}, О.И. Григорьева^{3d}, И.В. Григорьев^{4e}

¹ Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский Тракт, 37, Екатеринбург, Россия

² Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва, пр. «Красноярский рабочий», 31, Красноярск, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Арктический государственный агротехнологический университет, Сергеляхское шоссе, 3, Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия

^a kir9624@yandex.ru, ^b melnikov1978@inbox.ru, ^c aleksandr-baranov-55@mail.ru,

^d grigoreva_o@list.ru, ^e silver73@inbox.ru

^a <https://orcid.org/000-0001-8928-8765>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-7032-9512>, ^c <https://orcid.org/0000-0003-1333-6285>,

^d <https://orcid.org/0000-0001-5937-0813>, ^e <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>

Статья поступила 04.10.2021, принята 19.10.2021

В современных экономических условиях перед лесной отраслью стоит задача обеспечения как рационального многоцелевого лесопользования, так и сохранения лесов. Среди множества природных и антропогенных факторов, влияющих на состояние, динамику и экологическое равновесие лесного покрова, доминирующую роль играют лесные пожары. Их негативное воздействие нередко достигает катастрофических размеров, в основном, ввиду транспортной недоступности лесных земель, на которых расположен очаг возгорания, либо вследствие неэффективной организации доставки сил и средств пожаротушения к очагу возгорания. Неэффективность данной организации, согласно произведенному в статье анализу научной литературы по обозначенной проблематике, обусловлена прежде всего недостаточной развитостью и низкими качественными характеристиками существующих лесохозяйственных дорог, а также нерациональностью использования имеющихся наземных сил и средств пожаротушения в условиях ограничения времени на ликвидацию очага возгорания. Также посредством анализа научной литературы было выявлено, что, несмотря на значительный объем научно-исследовательских трудов в данной области, аспект учета основных факторов неэффективности организации доставки сил и средств пожаротушения в комплексе при разработке оптимизационных методов, моделей и алгоритмов проработан недостаточно подробно. Учитывая вышеизложенное, в статье представлена динамическая математическая модель определения эффективности доставки сил и средств пожаротушения с учетом уровня развития транспортных сетей на территории лесного фонда и природно-производственных условий региона в целях минимизации временных затрат на ликвидацию очага возгорания. Авторы выражают глубокую признательность коллегам по научной школе «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» за ценные сведения и замечания, высказанные при подготовке данной работы.

Ключевые слова: эффективность доставки сил и средств пожаротушения; математическая модель; минимизация временных затрат; лесная транспортная сеть; лесные пожары.

Mathematical model for determining the efficiency of delivery forces and fire extinguishing means taking into account the level of development of transportation network in the territory of the forest fund

R.N. Kovalev^{1a}, I.M. Enaleeva-Bandura^{2b}, A.N. Baranov^{2c}, O.I. Grigorjeva^{3d}, I.V. Grigorjev^{4e}

¹ Ural State Forest Engineering University; 37, Sibirsky Trakt St., Ekaterinburg, Russia

² Siberian State University of Science and Technology named after M.F. Reshetnev; 31, Krasnoyarsky Rabochy Per., Krasnoyarsk, Russia

³ St.Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, 5, Institut'skiy Per., St. Petersburg, Russia

⁴ Arctic State Agrotechnological University; 3, Sergelyakhskoe Shosse, Yakutsk, Republic of Sakha, Russia

^a kir9624@yandex.ru, ^b melnikov1978@inbox.ru, ^c aleksandr-baranov-55@mail.ru,

^d grigoreva_o@list.ru, ^e silver73@inbox.ru

^a <https://orcid.org/000-0001-8928-8765>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-7032-9512>, ^c <https://orcid.org/0000-0003-1333-6285>,

^d <https://orcid.org/0000-0001-5937-0813>, ^e <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>

Received 04.10.2021, accepted 19.10.2021

In modern economic conditions, the forestry industry is faced with the task of ensuring both rational multipurpose forest management and forest conservation. Among the many natural and anthropogenic factors affecting the state, dynamics and ecological balance of forest cover, forest fires play a dominant role. The negative impact of these fires often reaches catastrophic proportions, mainly due to the transport inaccessibility of forest lands on which the fire source is located, or through ineffective organization of the delivery of fire extinguishing forces and means to the fire source. The ineffectiveness of this organization, according to the analysis of the scientific literature on the indicated issues, made in the article, is primarily due to the insufficient development and low quality characteristics of the existing forestry roads, as well as the inefficiency of using the available ground forces and fire extinguishing means in conditions of limited time to eliminate the fire source. Also, through the analysis of scientific literature, it is revealed that, despite a significant amount of research work in this area, the aspect of taking into account the main factors of the ineffectiveness of organizing the delivery of forces and fire extinguishing means in the complex when developing optimization methods, models and algorithms has not been worked out in sufficient detail. Taking into account the above, the article presents a dynamic mathematical model for determining the effectiveness of the delivery of fire extinguishing forces and means, considering the level of development of transport networks on the territory of the forest fund and the natural production conditions of the region, in order to minimize the time spent on the elimination of the fire source. The authors express their deep gratitude to their colleagues at the scientific school "Innovative Developments in the field of logging industry and forestry" for the valuable information and comments made during the preparation of this work.

Keywords: efficiency of delivery of fire extinguishing forces and means; mathematical model; minimization of time costs; forest transport network; forest fires.

Введение. Пожары — один из наиболее мощных экологических факторов, оказывающих многогранное влияние на лесные биогеоценозы. Хотя большая часть хвойных лесов бореальной зоны имеет пирогенную природу [1; 2], пожары в значительной степени оказывают негативное воздействие на лесные экосистемы, уничтожая органический слой почвы, вызывают ее сильную эрозию и загрязняют атмосферу продуктами горения.

В связи с обозначенным воздействием тушение лесных пожаров необходимо, но при использовании воздушных сил высокочрезмерно. Высокие суммарные затраты на тушение лесных пожаров в большей степени обусловлены недостаточной развитостью транспортной сети в целом и дорог лесохозяйственного назначения в частности.

Тушение лесных пожаров при помощи наземных сил и спецтехники зависит не только от уровня развития транспортной сети, но и от ее качественного состояния, а также от эффективности организации доставки сил и средств пожаротушения к очагу возгорания. Таким образом, качественное состояние лесных дорог и эффективность организации транспортировки спецбригад и средств пожаротушения являются также основными слагаемыми временных затрат на ликвидацию лесного пожара.

Из наземных средств для тушения лесных пожаров в условиях отсутствия дорог могут работать противопожарные вездеходы и форвардеры (рис. 1–3), но и их проходимость ограничена по рельефным и почвенно-грунтовым условиям [3–5], кроме того, они практически не встречаются в лесах России.



Рис. 1. Пожарная станция на базе гусеничного вездехода «Четра ТМ-140»

Очевидно, что указанные временные затраты находятся в тесной обратно пропорциональной зависимости от величины эколого-экономического ущерба лесным экосистемам ввиду негативного воздействия лесных пожаров. В этой связи исследования, ориентированные на выработку методологических инструментов, направленных на достижение повышения эффективности организации доставки сил и средств пожаротушения с учетом уровня развития транспортных сетей на территории лесного фонда, представляют значительный интерес — как научный, так и практический [6; 7; 9].



Рис. 2. Противопожарный форвардер Timber Pro



Рис. 3. Противопожарный форвардер Ponsse

Цель работы. В настоящей работе сделана попытка аналитического определения эффективности доставки сил и средств пожаротушения, исходя из уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда.

Материалы и методы исследования. Для успешной ликвидации лесного пожара необходима реализация следующих условий: раннее обнаружение пожара; доставка сил и средств пожаротушения к очагу возгорания в возможно сжатый временной интервал; минимальный прирост периметра очага горения за время тушения.

Выполнение данных условий обеспечивает эффективность охраны территорий лесного фонда от негативного воздействия пожаров.

Обзор научных исследований в области определения отмеченной эффективности выявил, что данный показатель базируется на временном критерии оптимальности. Например, в источнике [6] отмечается, что в борьбе с лесными пожарами большое значение имеет фактор времени. От обнаружения лесного пожара до принятия решения о его ликвидации должно затрачиваться минимальное время. При этом важнейшей задачей является организация и доставка средств пожаротушения с учетом возможной силы, скорости распространения пожара и степени пожарной опасности [6–8].

Анализ научной литературы по обозначенной проблематике [9; 11–15 и др.] также показал, что предлагаемые методологические разработки по повышению эффективности пожаротушения ориентированы на учет какого-либо одного из

вышеприведенных условий успешной ликвидации лесного пожара. Отмеченное обстоятельство характеризует отсутствие в научной литературе комплексного подхода к повышению эффективности охраны лесов.

Например, в исследовании [15] представлена разработка комплексов организационно-технических мероприятий, направленных на своевременное обнаружение очагов возгорания. В научном труде [14] представлены результаты исследования по расчету нормативов обеспеченности субъекта Российской Федерации лесопожарными формированиями, пожарной техникой и оборудованием, противопожарным снаряжением и инвентарем, иными средствами предупреждения тушения лесных пожаров.

Также в научной литературе [13; 15; 17] существуют модели проектирования кратчайших маршрутов специального наземного транспорта от пожарно-химических станций к очагам лесных пожаров. В данных моделях учитывались пространственно-распределенные данные о средней скорости пожарной техники для разных типов дорог и рельефа местности.

Однако, несмотря на актуальность исследований в области эффективности пожаротушения, лишь в источнике [6] рассматривается вопрос обоснования эффективности дорог противопожарного назначения на территории лесного фонда.

В этой связи несложно прийти к выводу о недостаточной проработанности вопроса сопряжения повышения эффективности охраны лесов и уровня развития транспортных сетей на территории лесных земель, поскольку без должного уровня развития лесных дорог в целом и противопожарных дорог в частности использование наземных сил и средств пожаротушения не будет эффективным. Отсутствие лесных дорог подразумевает естественную почти полную невозможность пожаротушения наземным способом.

Учитывая вышеотмеченное, несложно заключить, что исследования, ориентированные на выработку методологических инструментов, направленных на достижение повышения эффективности организации охраны лесов с учетом уровня развития дорог противопожарного назначения на территории лесного фонда, представляют значительный как научный, так и практический интерес.

Обозначенное обстоятельство обуславливает необходимость разработки математической модели определения эффективности доставки сил и средств пожаротушения с учетом уровня развития транспортных сетей на территории лесного фонда в динамической постановке на основе комплексного подхода к условиям успешной ликвидации очага возгорания.

Результаты исследования. Эффективность доставки сил и средств пожаротушения с учетом уровня развития транспортных сетей на территории лесного фонда ($\text{Эф}^{\text{пт}}$) в интервал времени t пожароопасного сезона определяется отношением фактического времени доставки спецтехники и пожарных бригад к очагу возгорания к нормативному

времени доставки сил и средств пожаротушения согласно выражению (1):

$$\text{ЭФ}^{\text{пт}}(t) = \lim_{t_{\text{факт}} \rightarrow 0} \frac{t_{\text{факт}}(t)}{t_{\text{норм}}(t)} \times 100\%, \quad (1)$$

где $t_{\text{факт}}(t)$ – фактическое время доставки спецтехники и пожарных бригад к очагу возгорания, рассчитывается согласно уровню развития транспортной сети на территории лесного фонда, и зависит от наличия данной сети, скорости движения спецтехники, которая напрямую зависит от рельефа местности, дорожной одежды, качества содержания дороги и др. в интервал времени t , $t \in [0, \dots, T]$, ч.; $[0, \dots, T]$ - период пожароопасного сезона; $t_{\text{норм}}(t)$ – нормативное время доставки людей и спецтехники, которое согласно источнику [16] не должна превышать 3 часа. В случае если бригада не успевает прибыть в течение 3 часов на место пожара, то подключается помощь с воздуха [6].

Следует отметить, что нормативное время доставки необходимых сил и средств пожаротушения находится в прямой зависимости от возможной силы и скорости распространения лесного пожара, а также степени пожарной опасности. Данная степень, согласно источнику [6], подразделяется на 5 классов (см. таблицу).

Также необходимо обозначить, что при возникновении лесного пожара на территории лесного фонда, характеризующегося отсутствием лесных дорог, доставка спецтехники и другого наземного транспорта является невозможной, впрочем, как и другие работы, связанные с лесозэксплуатацией [18–20].

В этой связи фактическое время доставки спецтехники к очагам возгораний напрямую зависит от транспортной доступности территории лесного фонда, подвергшейся негативному воздействию лесного пожара, в том числе от наличия специально отведенных противопожарных дорог и скорости движения по ним [11].

Таблица. Классы пожарной опасности в лесах

Класс пожарной опасности	Характерные типы леса	Наиболее вероятные типы пожаров	$t_{\text{норм}}, \text{ч}$
I (очень высокая)	Хвойные молодняки, сосняки, лишайниковые, захламленные	Верховые и низовые в течение всего пожароопасного сезона	0,5–1*
II (высокая)	Сосняки брусничные, сосновый подрост с можжевельниковым подлеском	Низовые пожары в течение всего сезона, верховые — в календарный максимум	1–2
III (средняя)	Сосняки брусничные и кисличные, ельники, березняки	Низовые и верховые возможны в период летнего максимума	2–3
IV (низкая)	Черничные и крапивные. Сосняки и насаждения лиственных пород. Дубравы, ясенники	Очереди низовых возможны в травянистых типах леса в периоды максимумов	3
V (очень низкая)	Ельники долгомошные, березняки, осоковые, сфанговые	Возникновение пожара возможно только при особо неблагоприятных условиях погоды (длительная засуха)	3

При ветре более 5 м/с нормативное время должно быть сокращено в 2 раза. Если нет возможности сократить это время, то пропорционально увеличивается количество бригад и техники [10].

Таким образом, фактическое время доставки спецтехники к очагам возгораний в интервал времени t , предлагается вычислять, согласно выражению (2):

$$t_{\text{факт}}(t) = \sum_{t=0}^T \sum_{k=1}^K \frac{t_{\text{норм}}(t)}{\frac{l_m}{v_m \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_b}{v_b \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_y}{v_y \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_u}{v_u \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_n}{v_n \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c}}, \quad (2)$$

где l_m , l_b , l_y – расстояние доставки спецтехники и пожарных бригад, соответственно, по магистрали, ветке и усу, км; l_u – расстояние от пожарно – химической станции до границы лесничества, км; l_n – расстояние по пересеченной местности (пешее), км; v_m , v_b , v_y – среднетехнические скорости движения спецтехники, соответственно, по магистрали, ветке и усу, км/ч; v_u – скорость движения спецтехники от пожарного пункта до границы лесничества, км/ч; v_n – скорость спец. бригад и пожаротушающей техники по пересеченной местности (пешая), принимается, согласно источнику [1] 4 км/ч; k – тип спецтехники, $k \in [1, \dots, K]$;

$\prod_{k_c=1}^K k_c$ – рассматривается, как влияние факторов снижающих скорость доставки спецтехники и пожарных бригад к очагу возгорания. К данным

факторам относятся: изменения направления уклонов лесовозной дороги; скорость ветра; интенсивность движения; метеорологические условия; степень ровности дорожного покрытия. Согласно источнику [12], основным из данных факторов является ровность покрытия лесных дорог, поскольку ускорения колебаний подвижного состава зависят от наличия неровностей в дорожном покрытии (изменение степени ровности). Чем больше данное изменение, тем выше нарастает темп ускорения отмеченных колебаний, и как следствие, возникает повышение динамической нагрузки на несущие элементы машины. Неровность оказывает прямое влияние на потерю мощности транспортного средства, затрачиваемой на преодоление неровностей дорожного покрытия, вследствие чего имеют место дополнительные временные затраты.

Влияние неровности дорожного покрытия на среднетехнические скорости спецтехники определяется согласно [12].

Представленная математическая модель характеризуется следующими ограничениями:

1. Соответствие фактического времени прибытия спецтехники и пожарных бригад к очагу возгорания принятому в нормативах:

$$t_{\text{факт}}(t) \leq t_{\text{норм}}(t). \quad (3)$$

2. Достаточного уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда:

$$\begin{cases} l_{\text{п}}^{\text{расч}}(t) = \frac{(t_{\text{норм}}(t) \cdot (t_{\text{м}}(t) + t_{\text{в}}(t) + t_{\text{у}}(t) + t_{\text{д}}(t) - t_{\text{норм}}(t))) \cdot v_{\text{п}}}{t_{\text{норм}}(t)}, \\ l_{\text{п}}^{\text{факт}}(t) \leq l_{\text{п}}^{\text{расч}}(t) \end{cases}, \quad (4)$$

где $t_{\text{м}}(t), t_{\text{в}}(t), t_{\text{у}}(t), t_{\text{д}}(t)$ – фактическое время движения спецтехники и пожарных бригад по магистрали, ветке, усу и от пожарного пункта до границы лесничества, соответственно, ч; $l_{\text{п}}^{\text{расч}}(t)$ – предельно допустимое расчетное расстояние движения спецтехники и пожарных бригад по пересеченной местности (пешее), км; $l_{\text{п}}^{\text{факт}}(t)$ – фактическое расстояние движения спецтехники и пожарных бригад по пересеченной местности (пешее), км.

Если условие $l_{\text{п}}^{\text{факт}}(t) \leq l_{\text{п}}^{\text{расч}}(t)$ не выполняется, очевидно, что доставка спецтехники и пожарных бригад не укладывается в нормативное время при существующей сети дорог. Следовательно, необходимо строительство дополнительных лесных дорог лесохозяйственного назначения, благодаря которым будет обеспечиваться доставка сил и средств пожаротушения в нормативное время в отдаленные места.

3. Естественной не отрицательности переменных:

$$\begin{aligned} v_{\text{м}}, v_{\text{в}}, v_{\text{у}}, v_{\text{д}} \geq 0; l_{\text{м}}, l_{\text{в}}, l_{\text{у}}, l_{\text{д}}, l_{\text{п}}, l_{\text{п}}^{\text{факт}}(t), l_{\text{п}}^{\text{расч}}(t) \geq 0; \\ t = 0, \dots, T; k = 1, \dots, K. \end{aligned} \quad (5)$$

Литература

- Morkovina S.S., Kunickaya O., Dolmatova L., Markov O., Nguyen V.L., Baranova T., Shadrina S., Grin'ko O. Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2021. V. 18. № 2. P. 19-26.
- Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Cultivation of the targeted forest plantations // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2020. V. 8. № 4. P. 1385-1393.
- Бурмистрова О.Н., Просужих А.А., Хитров Е.Г., Куницкая О.А., Лунова Е.Н. Теоретические исследования производительности форвардеров при ограничениях воздействия на почвогрунты // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2021. № 3 (381). С. 101-116.
- Бурмистрова О.Н., Просужих А.А., Хитров Е.Г., Рудов С.Е., Куницкая О.А., Калита О.Н. Влияние переменных коэффициентов сопротивления движению и сцепления на производительность форвардера // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 1. С. 3-16.
- Бурмистрова О.Н., Тетеревлева Е.В., Куницкая О.А. Моделирование взаимодействия колесного движителя сверх-

В основе разработанной модели лежит критерий оптимальности, направленный на поиск минимального времени доставки спецтехники и пожарных бригад к очагу возгорания и обеспечивающий комплексный подход к условиям успешной ликвидации лесного пожара.

Выводы. Предлагаемая математическая модель оценки эффективности доставки спецтехники и пожарных бригад к очагу возгорания при возникновении лесных пожаров с учетом фактора планирования транспортной сети на территории лесного фонда в динамической постановке позволяет осуществить выбор наиболее рациональной схемы организации доставки сил и средств пожаротушения в целях сокращения временных затрат, что является ключевым аспектом снижения негативного воздействия пожара на лесные экосистемы.

Реализуемый посредством предложенной аналитико-математической модели подход к созданию противопожарных лесных дорог, основанный на критерии времени доставки сил и средств пожаротушения, позволит обеспечить транспортную доступность к очагам пожара всех сил и средств пожаротушения в соответствии с нормативом времени посредством:

– оценки уровня развития противопожарных лесных дорог, т.е. выявления, насколько полноценно обеспечиваются отдаленные участки лесничества нормативным временем реагирования при имеющейся транспортной сети;

– определения необходимости проектирования дополнительных лесных дорог лесохозяйственного назначения, благодаря которым будет обеспечиваться доставка сил и средств пожаротушения в нормативное время в отдаленные места.

Данная методологическая разработка может быть положена в основу информационно-аналитического обеспечения в области рационального проектирования лесных дорог противопожарного назначения.

- низкого давления со слабонесущей опорной поверхностью // Системы Методы Технологии. 2019. № 4 (44). С. 95-101.
- Момот А.В. Проектирование противопожарных лесных дорог по критерию времени доставки сил и средств пожаротушения // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 1 (21). С. 116-122.
- Ковалев Р.Н., Еналеева-Бандура И.М., Никончук А.В. Оценка влияния пожаров на лесные экосистемы с учетом уровня развития лесотранспортной сети // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2021. № 4. С. 131-149.
- Ложник Д.В. Обоснование оптимальных схем лесотранспортного процесса лесопромышленных предприятий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2013. С. 8-12.
- Ковалев Р.Н., Баранов А.Н., Иванов В.А., Чжан С.А. Интегральная математическая модель оценки эколого-экономического ущерба лесных экосистем от пожаров с учетом уровня развития транспортной сети // Системы Методы Технологии. 2020. № 4 (48). С. 156-161.
- Лесной кодекс Российской Федерации: федер. закон от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 02.07.2021) с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2021. URL: <http://www.consultant.ru>.

- ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения: 03.09.2021).
11. North M.P., Stephens S.L., Collins B.M., Agee J.K., Franklin J.F. Environmental Science // Reform forest fire management. Insights. USA. 2015. P. 1280-1281.
 12. Леонович И.И., Вырко Н.П., Демидко М.Н. Влияние состояния транспортных путей на эффективность работы лесовозных автопоездов на вывозке заготовленного леса // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2014. № 2. С. 37-39.
 13. Рунова Е.М., Савченкова В.А. Оценка целесообразности применения показателей эффективности мероприятий, направленных на ликвидацию лесных пожаров // Успехи современного естествознания. 2016. № 11-2. С. 311-317.
 14. Коршунов Н.А., Савченкова В.А., Провин К.Н. Оценка минимальных требований по техническому оснащению лесопожарных групп // Вестн. Красноярского гос. ун-та. 2017. Вып. 9. С. 63-69.
 15. Матвеева А.А., Рулев А.С. Эколого-экономические аспекты проектирования региональной сети ПХС для регулирования пожароопасной обстановки // Вестн. АПК Ставрополя. 2016. № 3 (23). С. 251-255.
 16. Методические рекомендации по применению сил и средств для тушения лесных пожаров: утв. МЧС России № 2-4-87-9-18 от 16.07.2014 г. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_246655/ (дата обращения: 08.09.2021).
 17. Подольская Е.С., Ковганко К.А., Ершов Д.В., Шуляк П.П., Сучков А.И. Использование модели транспортной сети региона для оценки времени и расстояния наземной доставки сил и средств до лесных пожаров // Вопросы лесной науки. 2019. Т. 2 (1). С. 1-28.
 18. Казаков Н.В., Абузов А.В. Технические средства автоматизации управления процессами промышленного лесопользования // Вестн. АГАТУ. 2021. № 1 (1). С. 50-55.
 19. Герц Э.Ф., Уразова А.Ф., Курдышева Е.В., Уразов П.Н. Эффективность защитных лесных полос вдоль железной дороги // Вестн. АГАТУ. 2021. № 1 (1). С. 56-60.
 20. Ахтямов Э.Р., Кручинин И.Н., Кручинина Е.И., Лобыкин А.А. Асфальтобетонные покрытия лесных лесовозных дорог с улучшенными транспортно-эксплуатационными показателями // Вестн. АГАТУ. 2021. № 1 (1). С. 61-65.
 5. Burmistrova O.N., Teterevleva E.V., Kunickaya O.A. Modeling of the interaction of an ultra-low pressure wheel mover with a weakly existing support surface // Systems Methods Technologies. 2019. № 4 (44). P. 95-101.
 6. Momot A.V. Design of fire-fighting forest roads according to the criterion of time of delivery of fire extinguishing forces and means // Forestry Engineering Journal. 2016. V. 6. № 1 (21). P. 116-122.
 7. Kovalev R.N., Enaleeva-Bandura I.M., Nikonchuk A.V. Assessment of the impact of fires on forest ecosystems taking into account the level of development of the forest transport network // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2021. № 4. P. 131-149.
 8. Lozhnik D.V. Substantiation of optimal schemes of the forest transport process of forestry enterprises: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2013. P. 8-12.
 9. Kovalev R.N., Baranov A.N., Ivanov V.A., Chzhan S.A. Integral mathematical model for assessing ecological and economic damage to forest ecosystems from fires taking into account the level of development of the transport network // Systems Methods Technologies. 2020. № 4 (48). P. 156-161.
 10. Forest Code of the Russian Federation: feder. zakon ot 04.12.2006 № 200-FZ (red. ot 02.07.2021) s izm. i dop., vstup. v silu s 01.09.2021. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (data obrashcheniya: 03.09.2021).
 11. North M.P., Stephens S.L., Collins B.M., Agee J.K., Franklin J.F. Environmental Science // Reform forest fire management. Insights. USA. 2015. P. 1280-1281.
 12. Leonovich I.I., Vyrko N.P., Demidko M.N. The influence of the state of transport routes on the efficiency of logging road trains in the removal of harvested forest // Trudy BGTU. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya prom-st'. 2014. № 2. P. 37-39.
 13. Runova E.M., Savchenkova V.A. Assessment of the feasibility of using indicators of the effectiveness of measures aimed at eliminating forest fires // Advances in current natural sciences. 2016. № 11-2. P. 311-317.
 14. Korshunov N.A., Savchenkova V.A., Provin K.N. Assessment of minimum requirements for technical equipment of forest fire groups // The Bulletin of KrasGAU. 2017. Vyp. 9. P. 63-69.
 15. Matveeva A.A., Rulev A.S. Ecological and economic aspects of the design of a regional network of PCBs for the regulation of a fire-hazardous situation // Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2016. № 3 (23). P. 251-255.
 16. Methodological recommendations on the use of forces and means to extinguish forest fires: utv. MCHS Rossii № 2-4-87-9-18 ot 16.07.2014 g. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_246655/ (data obrashcheniya: 08.09.2021).
 17. Podolskaya E.S., Kovganco K.A., Ershov D.V., SHulyak P.P., Suchkov A.I. Using the model of the transport network of the region to estimate the time and distance of ground delivery of forces and means to forest fires // Forest Science Issues. 2019. V. 2 (1). P. 1-28.
 18. Kazakov N.V., Abuzov A.V. Technical means of automation of industrial forest management processes // Vestnik ASAU. 2021. № 1 (1). P. 50-55.
 19. Gerc E.F., Urazova A.F., Kurdyшева E.V., Urazov P.N. Effectiveness of protective forest strips along the railway // Vestnik ASAU. 2021. № 1 (1). P. 56-60.
 20. Ahtyamov E.R., Kruchinin I.N., Kruchinina E.I., Labykin A.A. Asphalt concrete pavements of logging roads with improved transport and operational indicators // Vestnik ASAU. 2021. № 1 (1). P. 61-65.

References

1. Morkovina S.S., Kunickaya O., Dolmatova L., Markov O., Nguyen V.L., Baranova T., Shadrina S., Grin'ko O. Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2021. V. 18. № 2. P. 19-26.
2. Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Cultivation of the targeted forest plantations // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2020. V. 8. № 4. P. 1385-1393.
3. Burmistrova O.N., Prosuzhikh A.A., Hitrov E.G., Kunickaya O.A., Luneva E.N. Theoretical studies of forwarders' productivity under restrictions of impact on soils // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2021. № 3 (381). P. 101-116.
4. Burmistrova O.N., Prosuzhikh A.A., Hitrov E.G., Rudov S.E., Kunickaya O.A., Kalita O.N. Influence of variable coefficients of resistance to movement and coupling on the performance of the fore-warder // Derevoobrabatavushaya promishlennost' (Woodworking industry). 2021. № 1. P. 3-16.