



УДК 634.0.375.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.95

ОБОСНОВАНИЕ СРЕДНЕГО РАССТОЯНИЯ ТРЕЛЕВКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ОСВОЕНИИ ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ

К.П. Рукомойников, д-р техн. наук, доц.

Е.М. Царев, д-р техн. наук, доц.

С.Е. Анисимов, канд. техн. наук, доц.

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3,
г. Йошкар-Ола, Россия, 424000; e-mail: RukomojnikovKP@volgatech.net,
CarevEM@volgatech.net, AnisimovSE@volgatech.net

Для условий малообъемных лесозаготовок форма лесосек напрямую связана с формой таксационных выделов, расположенных на территории лесного квартала. Непрямоугольная форма выделов, а следовательно, и осваиваемых лесосек, различие запасов назначенного в рубку древостоя и видов рубок являются характерными особенностями лесосечных работ при их комплексном ведении на нескольких смежных лесосеках в условиях поквартального освоения лесных участков. Нами предложена методика расчета среднего расстояния трелевки с территории выделенных делянок, отличающаяся возможностью ее использования на лесосеках различной конфигурации в условиях неравномерности распределения запасов древесины по площади и разнообразия технологических схем разработки пасек, характеризующихся криволинейной формой магистральных и пасечных волоков. Методика предусматривает разбиение анализируемых смежных лесосек на ряд простейших геометрических фигур, что позволяет максимально упростить расчеты и свести их к использованию методов дифференциального и интегрального исчисления. Идея базируется на анализе грузовой работы при трелевке лесоматериалов с различных участков смежных лесосек к погрузочным площадкам. Получена универсальная математическая зависимость для определения грузовой работы по трелевке лесоматериалов с участков любой конфигурации в условиях ветвистой структуры размещения на них пасечных и магистральных волоков. Материалы могут быть рекомендованы к использованию при обосновании технологических элементов лесосек, созданных путем объединения нескольких таксационных выделов, в условиях поквартального освоения лесных участков. При внедрении полученных результатов в производство создаются условия для более эффективного раз-

Для цитирования: Рукомойников К.П., Царев Е.М., Анисимов С.Е. Обоснование среднего расстояния трелевки лесоматериалов при комплексном освоении лесных участков // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 95–105. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.95

мещения погрузочных пунктов, прокладки трелевочных волоков, сокращаются затраты на освоение лесосек и повышается производительность трелевочной техники. Разработанная методика может быть использована для увеличения эффективности освоения лесных участков и оптимизации лесозаготовительного процесса при прямоугольной форме разрабатываемых лесосек. Полученные нами результаты прошли экспериментальную проверку в производственных условиях и рекомендуются к использованию на предприятиях, заинтересованных в поквартальном освоении лесных участков.

Ключевые слова: лесной квартал, лесозаготовка, трелевка, погрузочный пункт, методика расчета, лесосечные работы, запас леса, ветвистая структура трелевочных волоков.

Введение

Решением вопросов минимизации общей стоимости размещения лесопромышленных складов и развития лесной дорожной сети на территории лесных участков занимались многие ученые [10–12]. Аналогичной и не менее важной задачей при выполнении операций трелевки лесоматериалов к погрузочным пунктам является повышение достоверности расчета основных технологических параметров лесосек.

Известно, что параметры и форма лесосек, выборочных рубок определяются размерами и конфигурацией лесотаксационных выделов с их естественными границами, если при этом не превышена предельная площадь лесосеки и не создана опасность ветровала или других отрицательных последствий [8]. При небольшой площади таких выделов формируемая лесосека может представлять собой объединенный выдел, включающий несколько участков.

В связи с этим при обосновании технологических элементов лесосек необходимо учитывать прямоугольность формы рассматриваемых участков на территории квартала. Одной из характеристик, зависящих от формы и равномерности распределения запасов древесины на территории осваиваемых объединенных выделов, является среднее расстояние трелевки, играющее значительную роль в обосновании производительности и выборе технологии работ в лесу.

Вопросы нахождения оптимального расстояния между погрузочными пунктами и связанные с этим методики нахождения среднего расстояния трелевки древесины на участках прямоугольной формы изложены в работах [3, 9] и др.

В работе [1] рассмотрена методика расчета среднего расстояния трелевки и производительности для трехлинейной аэростатно-канатной транспортной системы на труднодоступных лесных участках треугольной формы. Методика расчета среднего расстояния трелевки лесоматериалов с учетом неэксплуатационных площадей предложена авторами работы [2], методика опи-

сания криволинейных границ выделов, позволяющая определять технологические параметры лесосек с использованием ГИС, в работе [5].

Анализируя вышеперечисленные исследования, можно сделать вывод, что в настоящее время известны методики определения среднего расстояния трелевки и размещения погрузочных пунктов для делянок прямоугольной и непрямоугольной формы. Однако они не учитывают различий вырубаемых запасов, видов рубок на выделах, входящих в состав объединенного выдела [6, 13, 14], возможности непрямолинейного расположения волоков [4, 7] при сочетании различных технологических схем, характерных для реальной практики. Таким образом, для площадей, характеризующихся различием запасов древесины на участках объединенных таксационных выделов с ветвистой и непрямолинейной структурой пасечных и магистральных волоков, эти методики требуют уточнения.

Объекты и методы исследования

Представленная в статье методика предусматривает разбиение анализируемых смежных лесосек на ряд простейших геометрических фигур, что позволяет максимально упростить расчеты и свести их к использованию методов дифференциального и интегрального исчисления.

Для определения среднего расстояния трелевки при комплексном освоении нескольких таксационных выделов рассмотрим лесосеку (рис. 1), расположенную на территории лесного квартала, ограниченного поквартальными просеками 1, примыкающую к непрямолинейной лесовозной дороге 3 и состоящую из двух выделов непрямоугольной формы. Каждый из выделов, входящих в состав лесосеки, характеризуется различными запасами древесины. По абрису лесосеки с указанным положением погрузочного пункта 5 можно определить все геометрические параметры осваиваемого лесного участка. На разных участках рассматриваемой лесосеки предусмотрены различные варианты прокладки пасечных волоков 4. При выполнении работ на лесосеке использована технология с валкой деревьев 2 вершиной на волок.

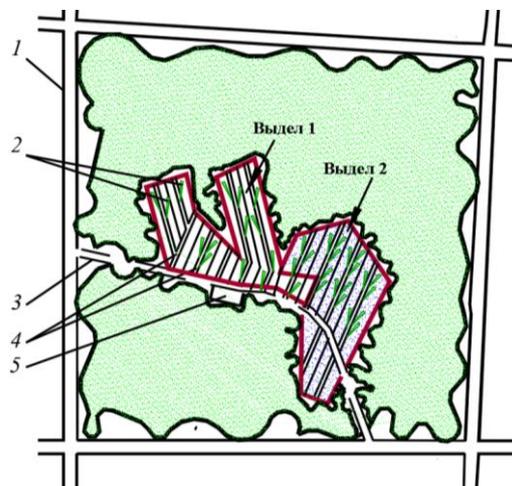


Рис. 1. Технологическая схема освоения лесного квартала к обоснованию методики определения среднего расстояния трелевки лесоматериалов на объединенных выделах непрямоугольной формы

При трансформации формы лесных участков, характеризующихся, помимо формы, показателями, описывающими технологическую схему освоения лесосеки с указанной на ней сетью пасечных и магистральных волоков, разработаны практические рекомендации, позволяющие выполнять рациональное разделение территории лесосеки на ряд геометрических фигур:

проведение секущих прямых осуществляется из точек, соответствующих резким переломам контура исходной геометрической формы каждого из входящих в состав лесосеки таксационных выделов; точек, характеризующих местоположение погрузочных пунктов; точек, соответствующих резким изгибам на участках лесовозной дороги;

деление территории лесосеки на геометрические фигуры производится секущими прямыми линиями, параллельными направлению ближайших к ним пасечных волоков;

конечной точкой каждой секущей прямой является ближайшая точка ее пересечения с участком прямой, характеризующей направление магистрального (пасечного) волока или границы соответствующей ему пасеки;

прямые, ограничивающие исходную геометрическую фигуру, проведенные секущие прямые и прямые, соединяющие конечные их точки, ограничивают собой формы новых геометрических фигур.

Использование предложенных рекомендаций позволяет разделить представленную ранее лесосеку сложной конфигурации на девять простейших геометрических фигур: фигуры 1, 2, 4, 6–9 – примыкают к лесовозной дороге, 3, 5 – удалены от нее; фигуры 1, 2 – расположены по левую стороны от погрузочного пункта, 3–9 – по правую; фигуры 1–7, 9 – имеют форму трапеции, 8 – треугольника (рис. 2).

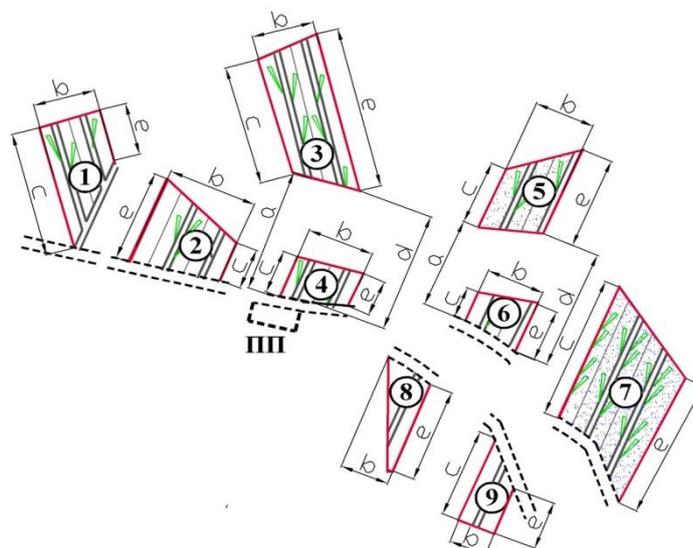


Рис. 2. Вариант деления территории лесосеки на простейшие геометрические фигуры

Каждая фигура имеет собственные размерные характеристики:

a – расстояние от ближнего к погрузочному пункту угла фигуры до ближайшего участка лесовозной дороги или магистрального волока в направлении, к которому осуществляется трелевка лесоматериалов;

d – расстояние от ближней по отношению к погрузочному пункту точки, лежащей на дальней от погрузочного пункта стороне фигуры, параллельной направлению трелевки древесины по фигуре, до ближайшего участка лесовозной дороги или магистрального волока в направлении, к которому осуществляется трелевка лесоматериалов;

c – длина ближней к погрузочному пункту стороны фигуры, параллельной направлению трелевки древесины по ней;

e – длина удаленной от погрузочного пункта стороны фигуры, параллельной направлению трелевки древесины по ней;

b – длина проекции фигуры на плоскость, перпендикулярную расположенным на ее территории пасечным волокам;

m – расстояние от погрузочного пункта до ближнего к нему угла фигуры за вычетом характеризующего ее показателя a .

Рассмотрим фигуру 3, имеющую форму трапеции и находящуюся на расстоянии от магистрального волока (рис. 3).

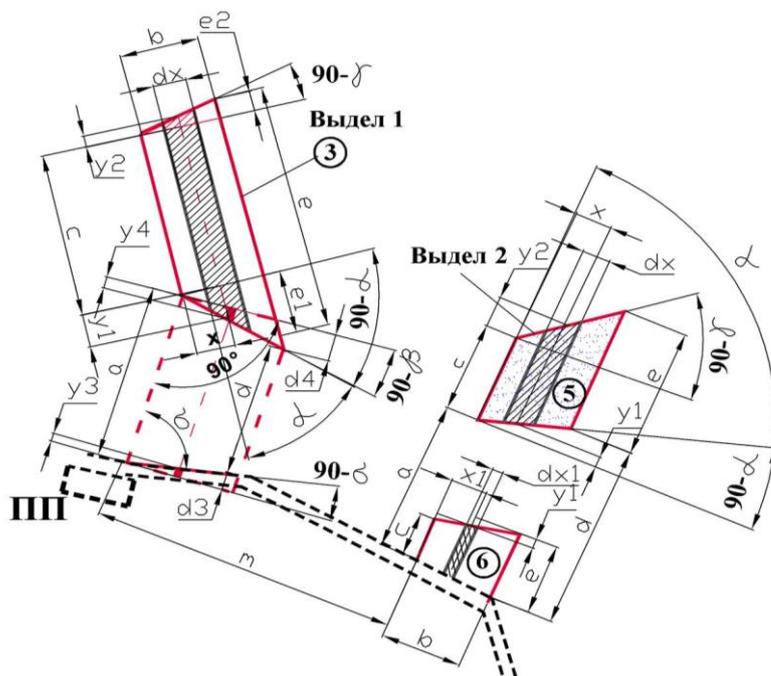


Рис. 3. Расчетная схема для определения среднего расстояния трелевки на участках различной конфигурации

Подобная форма и размещение представляют общий случай расположения выделов в составе объединенного выдела. Участки другой геометрической формы или же примыкающие к магистральному волоку являются частными случаями решения задачи.

Для определения среднего расстояния трелевки выделим в трапеции элементарную площадку dx . Площадь вертикальной элементарной площадки

$$dS = (c + y_1 + y_2)dx.$$

Из рис. 3 видно, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y_1}{x} = \frac{e_1}{b}; \operatorname{tg} \gamma = \frac{y_2}{x} = \frac{e_2}{b}; y_1 = \frac{e_1}{b}x; y_2 = \frac{e_2}{b}x.$$

С учетом представленных выше уравнений получим:

$$dS = \left(c + \frac{e_1}{b}x + \frac{e_2}{b}x\right) dx = \left(c + (e_1 + e_2)\frac{x}{b}\right) dx = \left(c + (e - c)\frac{x}{b}\right) dx.$$

Расстояние трелевки с элементарной площадки можно определить по следующей формуле:

$$l_3 = \frac{(c + y_1 + y_2)}{2} + m + \frac{x \cos \beta}{\cos \alpha \cos \sigma} + a - y_3 - y_4.$$

Как видно из рис. 3,

$$\sin \sigma = \frac{y_3 \cos \alpha}{x} = \frac{d_3 \cos \alpha}{b}; \sin \beta = \frac{y_4 \cos \alpha}{x} = \frac{d_4 \cos \alpha}{b}.$$

Следовательно,

$$y_3 = \frac{d_3 x}{b}; y_4 = \frac{d_4 x}{b}.$$

Подставим полученные закономерности в предложенную ранее формулу для расчета расстояния трелевки с элементарной площадки:

$$l_3 = l_3^M + l_3^П,$$

где l_3^M – расстояние трелевки с элементарной площадки по магистральным волокам, м:

$$l_3^M = m + \frac{x \cos(90 - \beta)}{\cos(90 - \alpha) \cdot \cos(90 - \sigma)};$$

β – острый угол между пасечными волоками, отходящими от фигуры, и стороной фигуры, пересекающей их в направлении, противоположном направлению трелевки лесоматериалов;

α – острый угол между пасечными волоками фигуры и стороной фигуры, пересекающей их в направлении трелевки лесоматериалов, ...°;

σ – острый угол между пасечными волоками, отходящими от фигуры, и магистральным волоком (лесовозной дорогой), пересекающим их в направлении трелевки лесоматериалов;

$l_3^П$ – расстояние трелевки с элементарной площадки по пасечным волокам, м:

$$l_3^П = \frac{\left(c + (e - c)\frac{x}{b}\right)}{2} + a - \frac{x}{b}(a - d).$$

Тогда

$$\ell_3 = \frac{\left(c + (e - c) \frac{x}{b}\right)}{2} + m + \frac{x \cos(90 - \beta)}{\cos(90 - \alpha) \cdot \cos(90 - \sigma)} + a - \frac{x}{b}(a - d).$$

Грузовая работа (R_y , м³·м), затрачиваемая на трелевку лесоматериалов с фигуры к лесопогрузочному пункту, составит:
по пасечным волокам

$$R_y = \frac{q_i}{10^4} \int_0^b \ell_3^M dS =$$

$$= \frac{q_i}{10^4} \int_0^b \left[\left(\frac{\left(c + (e - c) \frac{x}{b}\right)}{2} + a - \frac{x}{b}(a - d) \right) \left(c + (e - c) \frac{x}{b} \right) \right] dx =$$

$$= \frac{q_i b}{6 \cdot 10^4} [c(c + 2a + d + e) + e(a + 2d + e)];$$

по магистральным волокам

$$R_y = \frac{q_i}{10^4} \int_0^b \ell_3^M dS = \frac{q_i}{10^4} \int_0^b \left[(m + xf) \left(c + (e - c) \frac{x}{b} \right) \right] dx =$$

$$= \frac{q_i}{10^4} \left[\frac{b^2 f \left(e + \frac{c}{2} \right)}{3} + \frac{bm(e + c)}{2} \right],$$

где q_i – средний вырубемый запас на фигуре, м³;

$$f = \frac{\cos(90 - \beta)}{\cos(90 - \alpha) \cdot \cos(90 - \sigma)}.$$

Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследования установлено, что общая грузовая работа, затрачиваемая на трелевку лесоматериалов с любого участка, представленного в виде правильной геометрической фигуры, к погрузочному пункту, составит

$$R_y = \frac{q_i}{10^4} \int_0^b \ell_3 dS = \frac{q_i}{10^4} \times$$

$$\times \int_0^b \left[\left(\frac{\left(c + (e - c) \frac{x}{b}\right)}{2} + m + xf + a - \frac{x}{b}(a - d) \right) \left(c + (e - c) \frac{x}{b} \right) \right] dx =$$

$$= \frac{q_i b}{6 \cdot 10^4} [c(c + fb + d + 2a + 3m + e) + e(a + 2fb + 2d + 3m + e)].$$

При $a = d$ и $c = e$ трапеция приобретает форму прямоугольника, при $c = 0$ или $e = 0$ – треугольника. Если показатели $a = 0$, $d = 0$, $\beta = 0$ и $\sigma = 0$, то появляется возможность проанализировать фигуры, примыкающие к маги-

стральному волоку (лесовозной дороге). Примерами могут служить представленные на расчетной схеме (рис. 3) фигуры 5 и 6, среднее расстояние трелевки на которых может быть рассчитано без каких-либо преобразований приведенной зависимости.

При α , β , σ , отличных от 0, появляется возможность анализа делянок с резким изменением направления трелевочных волоков.

Если конфигурация делянки имеет сложную форму или состоит из нескольких выделов различной формы и размеров, на территории которых проводятся различные виды рубок, то среднее расстояние трелевки может быть определено по следующей формуле [3]:

$$l_{\text{ср}} = \frac{\sum_{y=1}^n R_y}{Q_n},$$

где y – количество фигур различной конфигурации, тяготеющих к одному погрузочному пункту, $y = 1 \dots n$;

Q_n – общий вырубемый запас на делянке, м³.

Заключение

Представленные в статье результаты прошли экспериментальную проверку в производственных условиях и рекомендуются к использованию на предприятиях, осуществляющих поквартальное освоение лесных участков, при обосновании технологических элементов лесосек, созданных путем объединения нескольких таксационных выделов.

Внедрение полученных результатов в производство создает условия для эффективного размещения погрузочных пунктов, прокладки трелевочных волоков, сокращения затрат на освоение лесосек и повышения производительности трелевочной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абузов А.В., Рябухин П.Б. К вопросу определения среднего расстояния трелевки и производительности трехлинейной азростатно-канатной системы // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2014. № 2-S. С. 42–46.
2. Дербин В.М., Дербин М.В., Туфанов М.Н. Среднее расстояние трелевки при разработке делянки с учетом неэксплуатационных площадей // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы междунар. науч.-техн. конф., Вологда, 11–13 дек. 2012 г. Вологда, 2013. С. 57–60.
3. Кочегаров В.Г., Бит Ю.А., Меньшиков В.Н. Технология и машины лесосечных работ: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 92 с.
4. Пискунов М.А., Воронова А.М. Исследование и классификация действительных схем размещения волоков на лесосеке при сортиментной технологии заготовки леса // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2011. № 3. С. 77–80.

5. Рожнецова Н.И. Совершенствование методики проектирования лесосечных работ с использованием элементов ГИС: дис. ... канд. техн. наук. Йошкар-Ола, 2008. 139 с.

6. Рукомойников К.П. Развитие инфраструктуры поквартального освоения участков лесного фонда // Лесн. журн. 2008. № 2. С. 37–41. (Изв. высш. учеб. заведений).

7. Рукомойников К.П. Обоснование технологических параметров лесосек различной конфигурации с неравномерным распределением запасов и ветвистой структурой трелевочных волоков // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/121-17133>

8. Тренин В.В. Основы лесного хозяйства для лесопользователей. Петрозаводск: Карел. НЦ РАН, 2007. 168 с.

9. Ширнин Ю.А., Рожнецова Н.И. Технологические параметры лесосек с границами, полученными на основе ГИС // Вестн. Марийского гос. технолог. ун-та. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2008. № 1. С. 40–47.

10. Akay A.E. Minimizing Total Cost Of Construction, Maintenance, and Transportation Costs with Computer-Aided Forest Road Design: Dr. Phil. For. Diss. Oregon USA, 2003. 245 p.

11. Çalişkan E. Planning of Forest Road Network and Analysis In Mountainous Area // Life Science Journal. 2013. Vol. 10, no. 2. Pp. 2456–2465.

12. Gerasimov Y., Senko S., Karjalainen T. Prospects of Forest Road Infrastructure Development in Northwest Russia with Proven Nordic Solutions // Scand. J. For. Res. 2013. Vol. 28, no. 8. Pp. 758–774.

13. Rukomojnikov K.P. Technical and Technological Aspects of Progressive Cutting Forest Compartment with Combined Reforestation // World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 24, iss. 11. Pp. 1429–1434.

14. Rukomojnikov K.P. Structuring of Loading Points and Main Skid Road in Conditions of Existing Road Network in Forest Compartment // Journal of Applied Engineering Science. 2015. No.13(3). P. 326–332.

Поступила 12.04.17

UDC 634.0.375.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.95

Substantiation of Average Distance of Skid Logging during Integrated Development of Forest Divisions

K.P. Rukomojnikov, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

E.M. Tsarev, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

S.E. Anisimov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Volga State University of Technology, pl. Lenina, 3, Yoshkar-Ola, Mari El Republic, 424000, Russian Federation; e-mail: rukomojnikovKP@volgatech.net, CarevEM@volgatech.net, anisimovSE@volgatech.net

For citation: Rukomojnikov K.P., Tsarev E.M., Anisimov S.E. Substantiation of Average Distance of Skid Logging during Integrated Development of Forest Divisions. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 95–105. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.95

For the conditions of small-volume logging, the form of cutting areas is directly related to the form of stratum located in the forest compartment. The nonrectangular shape of stratum, and, consequently, of cutting areas, the difference of timber volume and types of felling are the characteristic features of logging activities of integrated management in several adjacent cutting areas under conditions of compartment reclamation of forest sites. The article presents the calculation methods of the average skidding distance from the territory of the selected plots. The technique can be used at logging sites of different configurations in conditions of uneven distribution of timber volumes on the logging sites and variety of skidding patterns, characterized by a curved shape of the main and secondary logways. The method provides the subdivision of analyzed adjacent felling areas into a number of the simplest geometric figures. This approach allows simplifying calculations and reducing them to the use of methods of differential and integral calculation. The idea is based on the analysis of cargo operations when timber skidding from the different parts of adjacent cutting areas to loading points. We have obtained the universal mathematical dependence for the definition of skid logging cargo operations from the areas of any configuration in conditions of branched structure of skid roads. Data of this article can be recommended for substantiating the technological elements of cutting areas created by combining of several stratum under conditions of compartment reclamation of forest sites. When introducing the results of this publication into production, the conditions for a more efficient distribution of loading points and skidding trails can be created; costs for cutting areas reclamation can be reduced and performance of skidding equipment can be increased. The developed technique can be used to increase the efficiency of reclamation of forest areas and optimization of logging process when developing cutting areas of the nonrectangular shape. The presented results are experimentally verified in a production environment and are recommended for the use in enterprises interested in a compartment reclamation of forest sites.

Keywords: forest compartment, logging, skidding, loading point, calculation methods, cutting area work, standing volume, branched structure of skidding trail.

REFERENCES

1. Abuzov A.V., Ryabukhin P.B. K voprosu opredeleniya srednego rasstoyaniya trelevki i proizvoditel'nosti trekhlineynoy aerostatno-kanatnoy sistemy [On the Determination of the Average Distance Skidding and Productivity Trilinear Balloon–String Systems]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2014, no. 2-s, pp. 42–46.
2. Derbin V.M., Derbin M.V., Tufanov M.N. Srednee rasstoyanie trelevki pri razrabotke delyanki s uchetom neekspluatatsionnykh ploshchadey [The Average Distance of Skidding in the Development of Cutting Area Taking into Account the Commercial Forest Lands]. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., Vologda, 11–13 dek. 2012 g.* [Actual Problems of Development of the Forest Sector: Proc. Intern. Sci. Eng. Conf., Vologda, 11–13 December 2012]. Vologda, 2013, pp. 57–60.
3. Kochegarov V.G., Bit Yu.A., Men'shikov V.N. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot: ucheb. dlya vuzov* [Technology and Machines for Logging Operations]. Moscow, 1990. 392 p.

4. Piskunov M.A., Voronova A.M. Issledovanie i klassifikatsiya deystvitel'nykh skhem razmeshcheniya volokov na lesoseke pri sortimentnoy tekhnologii zagotovki lesa [Investigation and Classification of Real Schemes of Placing Skidding Trails on the Cutting Area in Shortwood Logging]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2011, no. 3, pp. 77–80.

5. Rozhentsova N.I. *Sovershenstvovanie metodiki proektirovaniya lesosechnykh rabot s ispol'zovaniem elementov GIS*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Improvement of Methods for Designing Logging Operations Using Elements of GIS: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Yoshkar-Ola, 2008. 138 p.

6. Rukomojnikov K.P. Razvitie infrastruktury pokvartal'nogo osvoeniya uchastkov lesnogo fonda [Infrastructure Development of Compartment Reclamation of Forest Sites]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2008, no. 2, pp. 36–41.

7. Rukomojnikov K.P. Obosnovanie tekhnologicheskikh parametrov lesosek razlichnoy konfiguratsii s neravnomernym raspredeleniem zapasov i vetvistoy strukturoy trelevochnykh volokov [Justification of Technological Parameters of Cutting Areas with Different Configurations, Uneven Distribution of Timber Volume and Branched Structure of Skid Trails]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2015, no. 1-1. Available at: www.science-education.ru/121-17133.

8. Trenin V.V. *Osnovy lesnogo khozyaystva dlya lesopol'zovateley* [Fundamentals of Forestry for Forest Users]. Petrozavodsk, 2007. 168 p.

9. Shirnin Yu.A., Rozhentsova N.I. Tekhnologicheskie parametry lesosek s granitsami, poluchennymi na osnove GIS [Technological Parameters of Cutting Area Borders Obtained on the Basis of GIS]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Vestnik of Mari State Technical University. Series “Forest. Ecology. Nature management”], 2008, no. 1, pp. 40–47.

10. Akay A.E. *Minimizing Total Cost of Construction, Maintenance, and Transportation Costs with Computer-Aided Forest Road Design*: Dr. Phil. For. Eng. Diss. Oregon, USA, 2003. 245 p.

11. Çalişkan E. Planning of Forest Road Network and Analysis in Mountainous Area. *Life Science Journal*, 2013, vol. 10, no. 2, pp. 2456–2465.

12. Gerasimov Yu., Senko S., Karjalainen T. Prospects of Forest Road Infrastructure Development in Northwest Russia with Proven Nordic Solutions. *Scand. J. For. Res.*, 2013, vol. 28, no. 8, pp. 758–774.

13. Rukomojnikov K.P. Technical and Technological Aspects of Progressive Cutting Forest Compartment with Combined Reforestation. *World Applied Sciences Journal*, 2013, vol. 24, iss. 11, pp. 1429–1434.

14. Rukomojnikov K.P. Structuring of Loading Points and Main Skid Road in Conditions of Existing Road Network in Forest Compartment. *Journal of Applied Engineering Science*, 2015, no. 13(3), pp. 326–332.

Received on April 12, 2017
