

УДК 630*383.2

UDC 630*383.2

**ОБОСНОВАНИЕ УГЛОВ ПРИМЫКАНИЯ
ЛЕСОВОЗНЫХ УСОВ К ВЕТКАМ****JUSTIFICATION OF SPAR ROADS JUNCTION
ANGLES TO THE FOREST ROADS**

Афоничев Дмитрий Николаевич
д.т.н., профессор

Afonichev Dmitry Nikolaevich
Dr.Sci.Tech., professor

Рыбников Павел Сергеевич
аспирант

Rybnikov Pavel Sergeevich
postgraduate student

*Воронежская государственная лесотехническая
академия, Воронеж, Россия*

*Voronezh State Academy of Forestry and Technologies,
Voronezh, Russia*

Зона тяготения лесовозной ветки при схеме размещения дорог в лесосырьевой базе «в елочку» делится на «ближнюю» и «дальнюю» части относительно положения пункта примыкания лесовозной магистрали. В «дальней» части при определенных параметрах лесосек целесообразно лесовозные усы к ветке прокладывать под углом равным оптимальному углу примыкания ветки к магистрали, что позволяет снизить затраты на вывозку древесины по ветке. В «ближней» части, а также при вильчатой и комбинированной схемах размещения дорог в лесосырьевых базах для снижения затрат на вывозку древесины следует усы прокладывать под оптимальными углами, определяемыми по установленной аналитической зависимости

The zone of attraction of hauling branches in an allocation scheme based on the roads in "herringbone" forest resources is divided into 'near' and 'distant' parts with respect to location of contiguity point to forest road. In the "distant" part at certain parameters of cutting area, it is advisable to lay spar roads to a branch at an angle equal to the optimal angle of junction of branch to line, which reduces the cost of removal of wood on the branch. In the "near" part, as well as in forked and combined schemes of road allocation in forest resources, spar roads should be run under the best angles determined by established analytical relationship to reduce the cost of removal of wood

Ключевые слова: ЛЕСОВОЗНЫЙ УС, ВЕТКА,
ВЕКТОР ГРУЗОПОТОКА, ЗОНА ТЯГОТЕНИЯ,
МАГИСТРАЛЬ, УГОЛ ПРИМЫКАНИЯ, ЗАТРАТЫ

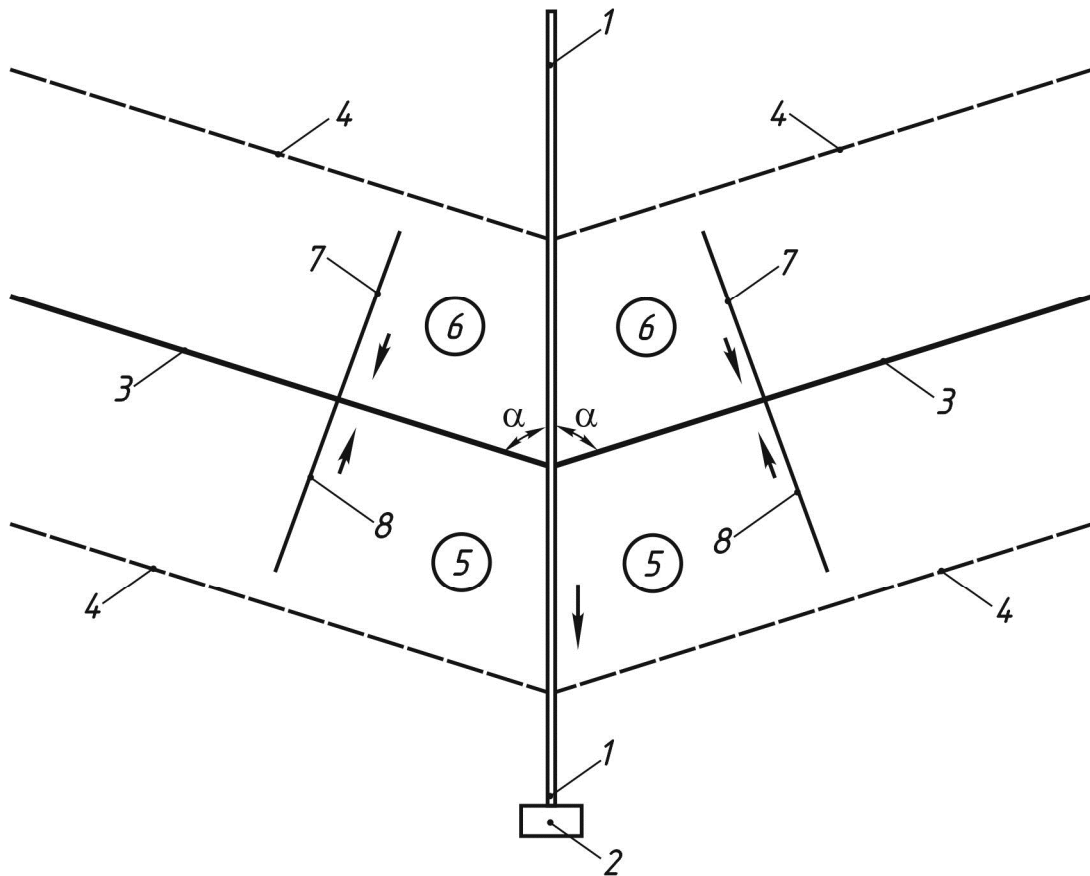
Keywords: SPAR ROAD, BRANCH, TRAFFIC
VECTOR, ATTRACTION ZONE, ROAD,
JUNCTION ANGLE, COSTS

При освоении лесных ресурсов важной задачей является размещение дорог на территории лесного фонда, грамотное решение которой обеспечивает минимальные затраты на заготовку древесины и другой продукции леса, а также способствует эффективному выполнению лесовосстановления и лесохозяйственных мероприятий, охране лесов. В настоящее время в основном используются лесохозяйственные и лесовозные автомобильные дороги, образующие транспортные сети лесных районов. По функциональному назначению в транспортных сетях выделяют следующие виды дорог: магистрали и ветки. Для доступа транспортных средств к отдельным разрабатываемым участкам лесного фонда – лесосекам прокладывают временные автомобильные дороги, которые называют усами. Объем стро-

ительства лесовозных усов зависит от объема заготовки древесины и площади осваиваемых лесосек, и при сравнительно небольших затратах на строительство 1 км уса стоимость вывозки древесины по усам значительная ввиду сложных условий движения.

Снизить затраты на вывозку древесины из лесосек можно путем поиска оптимальных параметров примыкания усов к лесовозным веткам и их размещения в пределах лесосек [1, 2, 3]. В настоящее время в специальной литературе рекомендуется размещать усы по нормали к веткам [4, 5]. Авторы статьи [2] получили уравнения для определения оптимального угла примыкания уса к ветке, решение которых представляет сложность, также в указанной статье не учитывалось положение усов в зоне тяготения ветки. В данной работе обоснована целесообразность размещения усов с примыканием их к веткам под углами отличными от прямого в различных частях зоны тяготения к ветке.

Лесовозная ветка делит зону своего тяготения на две части: одна часть расположена со стороны пункта примыкания лесовозной магистрали (пункта потребления древесины), другая часть расположена с противоположной стороны. На рисунке 1 показана схема деления зоны тяготения ветки характерная для наиболее распространенной схемы размещения дорог в лесосырьевой базе «в елочку» [4, 5]. Из данной схемы видно, что в части зоны со стороны пункта примыкания магистрали угол между веткой и магистралью составляет более 90° и равен $180^{\circ} - \alpha$, а в части, расположенной с противоположной стороны – угол между веткой и магистралью – оптимальный угол примыкания ветки к магистрали α , который меньше 90° . Первую часть зоны тяготения ветки назовем «ближняя», а вторую – «дальняя».

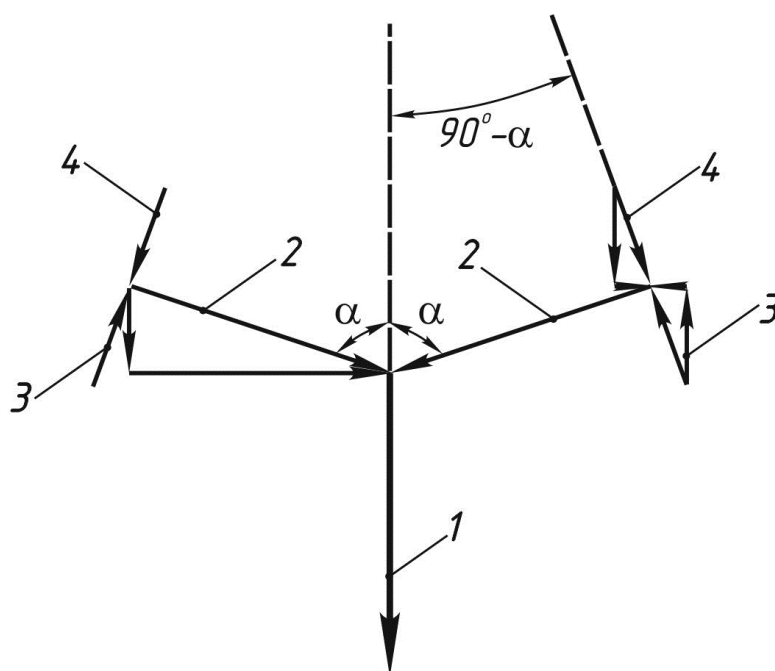


1 – магистраль; 2 – пункт примыкания магистрали (потребления древесины); 3 – ветка; 4 – граница зоны тяготения ветки; 5 – «ближняя» часть зоны тяготения ветки; 6 – «дальняя» часть зоны тяготения ветки; 7, 8 – лесовозные усы

Рисунок 1 – Схема зоны тяготения лесовозной ветки

На рисунке 1 стрелками показаны направления грузопотоков по усам, веткам и магистрали. В «ближней» части зоны тяготения ветки 5 грузопоток по усу 8 направлен противоположно грузопотоку по магистрали 1, а в «дальней» части зоны тяготения ветки 6 грузопоток по усу 7 направлен в ту же сторону, что и грузопоток по магистрали 1. Из анализа рисунка 1 следует, что ветки целесообразно сместить по направлению грузопотока по магистрали, то есть ближняя часть зоны 5 должна быть уже дальней части зоны 6. Так как ветка примыкает к магистрали под углом α , то грузопотоки по усам имеют различную ориентацию по отношению к грузопотоку по

ветке. На рисунке 2 показаны векторы грузопотоков по магистрали 1, по веткам 2 и по усам 3, 4 соответственно проходящим в «ближней» и «дальней» частях зоны тяготения ветки. Если рассмотреть проекции векторов 2, 3, 4 на направление вектора 1, то легко заметить, что составляющие вектора 2 направлены к магистрали и пункту ее примыкания, составляющие вектора 3 направлены к магистрали и противоположно ее направлению, а составляющие вектора 4 направлены к ветке и от магистрали.

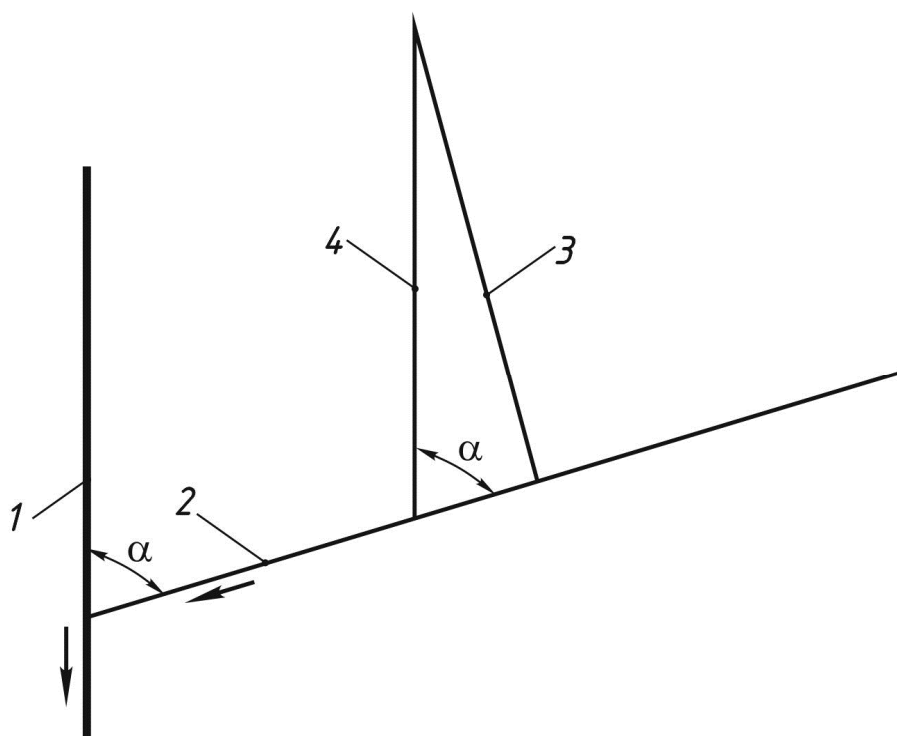


1 – вектор грузопотока по магистрали; 2 – вектор грузопотока по ветке;

3 и 4 – векторы грузопотоков по усам

Рисунок 2 – Соотношения направлений грузопотоков

Из рисунка 2 видно, что усы в «дальней» части зоны тяготения ветки необходимо размещать так, что бы они примыкали к ветке под углом равным оптимальному углу примыкания ветки к магистрали, то есть α . В этом случае вектор 4 будет направлен параллельно направлению грузопотока по магистрали. На схеме рисунка 3 показано взаимное расположение усов в «дальней» части зоны тяготения ветки.



1 – магистраль; 2 – ветка; 3 – ус при примыкании к ветке под прямым углом; 4 – ус при примыкании к ветке под углом, равным оптимальному углу примыкания ветки к магистрали α

Рисунок 3 – Взаимное расположение усов в «дальней» части зоны тяготения ветки при разных углах примыкания

Из рисунка 3 видно, что при размещении уса под углом α к ветке, то есть параллельно направлению грузопотока по магистрали увеличивается протяженность уса. Если принять, что длина уса при размещении его перпендикулярно ветке l_v , то в предлагаемом варианте она составит $l_v / \sin \alpha$. Логично предположить, что пропорционально длине уса увеличится и среднее расстояние вывозки по нему. Это в совокупности приведет к увеличению затрат на строительство усов и вывозку древесины по ним.

Увеличение затрат на вывозку древесины по усу обозначим z_v . Данные затраты включают дополнительные затраты на строительство, содержание и ликвидацию уса и дополнительные затраты на вывозку по усу.

Принимаем следующие условия, которые соответствуют существующим правилам рубок леса и технологическим процессам лесосечных работ: площадь лесосеки не изменяется, изменяется только ее форма в плане, которая будет близка к параллелограмму, при этом увеличится протяженность уса и соответственно длина лесосеки и сократится ширина зоны тяготения к усу. Таким образом, объем вывозки древесины по усу также не изменится. Значение z_v (в рублях) определяется по формуле

$$z_v = l_v k_{PV} (k_{II} C_v + Q_{II} b_v k_{CP}) \left(\frac{1}{\sin a} - 1 \right), \quad (1)$$

где l_v – длина уса при его размещении перпендикулярно ветке, км;

k_{PV} – коэффициент развития уса;

k_{II} – коэффициент, учитывающий затраты на устройство погрузочных пунктов и разворотных петель;

C_v – удельная стоимость строительства, содержания и ликвидации уса, руб/км;

Q_{II} – объем вывозки древесины по усу, м³;

b_v – удельная стоимость вывозки древесины по усу, руб/(м³ · км);

k_{CP} – коэффициент, учитывающий долю среднего расстояния вывозки по усу от его длины;

a – угол примыкания уса к ветке.

Эффект от реализации предлагаемого варианта размещения усов в «дальней» части зоны тяготения ветки достигается за счет снижения затрат на вывозку по ветке. Из схемы, показанной на рисунке 2 видно, что векторы грузопотоков по усам и магистрали расходятся под углом равным $90^\circ - a$, в результате чего транспортные средства совершают дополнительный пробег по веткам в одну сторону и за один рейс равный $l_v \operatorname{tg}(90^\circ - a)$, а сокращение хода транспортного средства по ветке состав-

вит $l_y \operatorname{ctg} a$ (рисунок 3), при этом затраты на вывозку по ветке сокращаются на величину z_c , равную

$$z_c = l_y k_{PB} b_B Q_L \operatorname{ctg} a, \quad (2)$$

где k_{PB} – коэффициент развития ветки;

b_B – удельная стоимость вывозки древесины по ветке, руб/(м³·км).

Представленные аналитические зависимости (1) и (2) показывают, что целесообразность изменения направления уса в дальней части зоны тяготения ветки определяется протяженностью уса и объемом вывозки древесины по нему, и имеет место при выполнении условия $z_c \geq z_v$ или

$$k_{PY} (k_{II} C_V + Q_L b_Y k_{CP}) \left(\frac{1}{\sin a} - 1 \right) \leq k_{PB} b_B Q_L \operatorname{ctg} a. \quad (3)$$

Так как $\sin a \geq 0$ и все прочие параметры, входящие в неравенство (3) являются положительными значениями, то неравенство (3) можно преобразовать к виду:

$$k_{PY} k_{II} C_V (1 - \sin a) + k_{PY} b_Y k_{CP} Q_L (1 - \sin a) \leq k_{PB} b_B Q_L \cos a. \quad (4)$$

Из неравенства (4) получаем

$$Q_L \geq \frac{k_{PY} k_{II} C_V (1 - \sin a)}{k_{PB} b_B \cos a - k_{PY} b_Y k_{CP} (1 - \sin a)}. \quad (5)$$

Так как объем вывозки древесины из лесосеки Q_L является функцией ее площади A_L (в гектарах), то $Q_L = g_L A_L$ (g_L – ликвидный запас древесины, м³/га), а неравенство (5) можно привести к виду

$$A_L \geq \frac{k_{PY} k_{II} C_V (1 - \sin a)}{g_L [k_{PB} b_B \cos a - k_{PY} b_Y k_{CP} (1 - \sin a)]}. \quad (6)$$

Зависимость (6) определяет значения площади лесосек, при которых целесообразно в дальней части зоны тяготения ветки усы прокладывать к ветке под углом a , минимальные значения указанных площадей приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Минимальные значения площади лесосек, при которых целесообразно в «дальней» части зоны тяготения ветки усы прокладывать к ветке под углом $\alpha = 60^{\circ}$

Отношение удельной стоимости строительства, содержания и ликвидации уса к удельной стоимости вывозки по ветке C_y / b_B	Минимальная площадь лесосеки (в гектарах) при ликвидном запасе древесины, м ³ /га			
	100	150	200	250
7500	37,9	25,2	18,9	15,1
9000	49,2	32,8	24,6	19,7
10000	48,6	32,4	24,3	19,4
12000	62,5	41,7	31,2	25,0
15000	74,5	49,7	37,3	29,8
18000	87,4	58,3	43,7	35,0
21000	94,2	62,8	47,1	37,7
25000	118,8	79,2	59,4	47,5

Так как правила рубок леса в Российской Федерации устанавливают предельные размеры лесосек для рубок главного пользования 50 га, а для рубок ухода 100 га, то согласно данным таблиц 1 и 2 изменение направления усов в «дальней» части зоны тяготения ветки может быть целесообразно во многих случаях. Основными факторами, определяющими указанную целесообразность, являются: удельная стоимость строительства, содержания и ликвидации уса, ликвидный запас древесины, удельная стоимость вывозки древесины по ветке.

Экономический эффект \mathcal{E} (в рублях) от изменения направления уса для одной лесосеки определяется разностью величины сокращения затрат на вывозку древесины по ветке и величины повышения затрат на вывозку древесины по усу, то есть

$$\mathcal{E} = z_c - z_y. \tag{7}$$

Таблица 2 – Минимальные значения площади лесосек, при которых целесообразно в «дальней» части зоны тяготения ветки усы прокладывать к ветке под углом $\alpha = 50^\circ$

Отношение удельной стоимости строительства, содержания и ликвидации уса к удельной стоимости вывозки по ветке C_v / b_B	Минимальная площадь лесосеки (в гектарах) при ликвидном запасе древесины, м ³ /га			
	100	150	200	250
7500	59,7	39,8	29,8	23,9
9000	81,6	54,4	40,8	32,7
10000	75,0	50,0	37,5	30,0
12000	100,4	67,0	50,2	40,2
15000	116,5	77,7	58,3	46,6
18000	135,0	90,0	67,5	54,0
21000	140,1	93,4	70,0	56,0
25000	181,2	120,8	90,6	72,5

Зная количество лесосек, разрабатываемых в течение года в дальних частях зоны тяготения ветки, можно установить годовой экономический эффект, который будет равен сумме эффектов, получаемых от отдельных лесосек.

Так как изменение угла примыкания уса к ветке приводит к возрастанию затрат на вывозку древесины по усу с учетом затрат на его строительство и снижению затрат на вывозку древесины по ветке, то при определенном положении уса относительно ветки, которое определяется некоторым углом примыкания α_0 будет иметь место минимум затрат на вывозку древесины по усу и ветке. Примыкание усов к ветке под углом α_0 может быть использовано в «ближней» части зоны тяготения ветки (рисунок 1), а также при вильчатой и комбинированной схемах размещения дорог в лесосырьевых базах [4, 5]. Затраты на вывозку древесины по усу и на строительство уса Z_v (в рублях) определяются по формуле

$$Z_v = \frac{l_v k_{PV} (k_{II} C_v + Q_{Л} b_v k_{CP})}{\sin \alpha_0} \tag{8}$$

Затраты на вывозку древесины по ветке Z_B (в рублях) как функция угла примыкания α_0 выражаются зависимостью

$$Z_B = b_B Q_{Л} \left(l_B - \frac{k_{PB} l_Y \cos a_0}{\sin a_0} \right), \quad (9)$$

где l_B – расстояние от примыкания ветки к магистрали до примыкания уса к ветке, км.

Суммарные затраты на вывозку древесины по усу и ветке Z_C равны сумме величин Z_Y и Z_B , или составляют

$$Z_C = \frac{l_Y k_{PY} (k_{П} C_Y + Q_{Л} b_Y k_{CP})}{\sin a_0} + b_B Q_{Л} \left(l_B - \frac{k_{PB} l_Y \cos a_0}{\sin a_0} \right). \quad (10)$$

Для нахождения оптимального угла примыкания уса к ветке возьмем производную dZ_C / da_0 и приравняем ее к нулю

$$\frac{dZ_C}{da_0} = \frac{l_Y [b_B Q_{Л} k_{PB} - k_{PY} (k_{П} C_Y + Q_{Л} b_Y k_{CP}) \cos a_0]}{\sin^2 a_0} = 0. \quad (11)$$

Уравнение (11) определено при $\sin a_0 \neq 0$, а следовательно $a_0 \neq 0$, что вполне естественно, так как ус не прокладывается параллельно ветке. Из уравнения (11) при условии, что $l_Y \neq 0$ можно получить следующее уравнение

$$b_B Q_{Л} k_{PB} - k_{PY} (k_{П} C_Y + Q_{Л} b_Y k_{CP}) \cos a_0 = 0. \quad (12)$$

Решение уравнения (12) имеет вид

$$\cos a_0 = \frac{k_{PB} b_B Q_{Л}}{k_{PY} (k_{П} C_Y + b_Y k_{CP} Q_{Л})}. \quad (13)$$

Из полученной зависимости (13) видно, что величина оптимального угла примыкания уса к ветке зависит от объема вывозки древесины по усу и стоимостных показателей b_B , C_Y , b_Y . В таблице 3 приведены значения оптимальных углов примыкания уса к ветке в зависимости от удельной стоимости уса и объема вывозки древесины по нему.

Таблица 3 – Оптимальные углы примыкания уса к ветке

Отношение удельной стоимости строительства, содержания и ликвидации уса к удельной стоимости вывозки по ветке C_y / b_B	Оптимальный угол примыкания уса к ветке при объеме вывозки древесины по усу, тыс. м ³					
	2	4	6	8	10	12
9000	82°	77°	72°	69°	66°	64°
12000	84°	79°	75°	72°	69°	66°
15000	85°	81°	77°	74°	71°	68°
18000	86°	82°	78°	75°	73°	70°
25000	87°	84°	81°	79°	76°	74°
37000	88°	86°	84°	82°	80°	78°

Данные таблицы 3 свидетельствуют о том, что при малых объемах вывозки оптимальный угол примыкания уса к ветке близок к 90°, с увеличением объема вывозки древесины по усу оптимальный угол уменьшается и становится более чувствительным к изменению удельной стоимости уса.

Список литературы

1. Афоничев Д.Н. Алгоритм расчета в системе автоматизированного проектирования оптимальных параметров размещения лесовозных веток и усов / Д.Н. Афоничев // Вестник МГУЛа – Лесной вестник. – 2010. – № 5. – С. 82–86.
2. Афоничев Д.Н. Оптимальный угол примыкания лесовозного уса к ветке / Д.Н. Афоничев, А.В. Пядухов, С.М. Гоптарев // Лесотехнический журнал / ВГЛТА. – 2011. – № 1. – С. 80–85.
3. Афоничев Д.Н. Размещение лесовозного уса на лесосеке / Д.Н. Афоничев // Вестник МГУЛа – Лесной вестник. – 2009. – № 3. – С. 92–94.
4. Ильин Б.А. Основы размещения лесовозных дорог в сырьевых базах лесозаготовительных предприятий / Б.А. Ильин. – Л.: ЛТА, 1987. – 63 с.
5. Сухопутный транспорт леса / Под ред. В.И. Алябьева. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 416 с.