УДК 630*383.2

ОПТИМАЛЬНЫЙ УГОЛ ПРИМЫКАНИЯ ЛЕСОВОЗНОГО УСА К ВЕТКЕ

Д.Н. Афоничев, А.В. Пядухов, С.М. Гоптарев
ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»
dmafonichev@yandex.ru

Приведены аналитические зависимости, позволяющие определить оптимальный угол примыкания лесовозного уса к ветке, который обеспечит минимальные затраты на вывозку древесины. Разработанный математический аппарат учитывает размещение трелевочных волоков на лесосеке, смещение уса по направлению грузопотока и стоимостные показатели трелевки и вывозки древесины, устройства путей технологического транспорта.

Ключевые слова: лесовозный ус, ветка, вывозка древесины, трелевочный волок, затраты, смещение уса, лесосека, угол примыкания.

В настоящее время рекомендуется примыкание лесовозных усов к веткам под прямым углом [1, 2, 3, 4], но это не всегда экономически целесообразно. В частности в части зоны тяготения ветки, расположенной в противоположную сторону от направления грузопотока по магистрали, примыкание усов под прямым углом приводит к возникновению перепробега подвижного состава по ветке. Таким образом, необходимо определить оптимальный угол примыкания уса к ветке.

Лесовозный ус на лесосеке размещают либо по середине лесосеки, либо по ее краю [1, 2, 3, 4]. При размещении уса по середине лесосеки, он делит лесосеку на две отдельные части, при этом направление трелевки в одной части будет в противоположную сторону направлению грузопотока по ветке, а поэтому для снижения затрат на вывозку и трелевку древесины целесообразно ус сместить от центра лесосеки по направлению грузопотока по ветке [4]. Смещение уса от центра лесосеки по направлению грузопотока по ветке не изменит величины затрат на устройство и содержание ветки. В то же время примыкание уса к ветке под углом, отличным от прямого, повлечет за собой увеличение затрат на строительство уса с погрузочными пунктами и вывозку по усу, устройство трелевочных волоков. Таким образом, в качестве критерия оптимизации угла примыкания уса примем суммарные удельные затраты на трелевку, устройство волоков, строительство уса с погрузочными пунктами и вывозку древесины по усу и ветке $z_{Уд}$ (р./м^3)

$$z_{Уд} = z_T + z_{ТВ} + z_{УС} + z_{УВ} + z_B, \qquad (1)$$

где z_T – удельные затраты на трелевку древесины, р./м^3;

$z_{ТВ}$ – удельные затраты на устройство трелевочных волоков, р./м^3;

$z_{УС}$ – удельные затраты на строительство уса с погрузочными пунктами, р./м^3;

$z_{УВ}$ – удельные затраты на вывозку древесины по усу, р./м^3;

z_B – удельные затраты на вывозку древесины по ветке, р./м^3.

$$z_T = z_{TMB} + z_{TПB}, \quad (2)$$

где z_{TMB}, $z_{TПB}$ – удельные затраты на трелевку соответственно по магистральным и пасечным волокам, р./м^3.

$$z_{TMB} = b_T\left(l_{MB1}s_1 + l_{MB2}s_2\right), \quad (3)$$

где b_T – стоимость трелевки древесины по магистральным волокам, р./(м^3·км);

l_{MB1}, l_{MB2} – средние расстояния трелевки по магистральным волокам в отдельных частях лесосеки, км;

s_1, s_2 – коэффициенты, учитывающие объем древесины, заготавливаемой в отдельных частях лесосеки.

$$z_{TПB} = b_П\left(l_{ПB1}s_1 + l_{ПB2}s_2\right), \quad (4)$$

где $b_П$ – стоимость трелевки древесины по пасечным волокам, р./(м^3·км);

$l_{ПB1}$, $l_{ПB2}$ – средние расстояния трелевки по пасечным волокам в отдельных частях лесосеки, км.

$$l_{MB1} = k_{PM}\left[\frac{0{,}5}{\sin\alpha}\left(0{,}5d_У - a_0 - z\right) - 0{,}5a + a_1\right]; \quad l_{MB2} = k_{PM}\left[\frac{0{,}5}{\sin\alpha}\left(0{,}5d_У - a_0 - z\right) + 0{,}5a + a_1\right], \quad (6)$$

где k_{PM} – коэффициент удлинения магистральных волоков;

a_0 – полуширина зоны тяготения к пасечному волоку, км;

z – расстояние от уса до магистрального волока, км;

a_1 – протяженность магистрального волока в пределах погрузочного пункта, км.

При размещении магистральных волоков параллельно усу среднее расстояние трелевки по ним не зависит от смещения уса a и его угла примыкания к ветке. Средние расстояния трелевки по пасечным

Используя аналитические зависимости для определения объема заготовки древесины в отдельных частях лесосеки, приведенные в работе [4], получим выражения для определения коэффициентов s_1, s_2

$$s_1 = \left(\frac{1}{2} - \frac{a\sin\alpha}{d_У}\right); \; s_2 = \left(\frac{1}{2} + \frac{a\sin\alpha}{d_У}\right), \quad (5)$$

где a – смещение уса от центра лесосеки в направлении грузопотока по ветке, км;

α – угол примыкания уса к ветке, град;

$d_У$ – ширина зоны тяготения к усу, км.

При размещении магистральных волоков параллельно ветке среднее расстояние трелевки по пасечным волокам не зависит от смещения уса a и угла примыкания уса к ветке. Средние расстояния трелевки по магистральным волокам при их размещении параллельно ветке будут равны [4]:

волокам при их размещении параллельно ветке будут равны:

$$l_{ПB1} = 0{,}5k_{PП}\left[\frac{0{,}5d_У - z}{\sin\alpha} - a\right];$$
$$l_{ПB2} = 0{,}5k_{PП}\left[\frac{0{,}5d_У - z}{\sin\alpha} + a\right], \quad (7)$$

где $k_{PП}$ – коэффициент удлинения пасечных волоков.

Подстановка выражений (5) и (6) в формулу (3) и зависимостей (5) и (7) в формулу (4) после преобразований позволила получить следующие зависимости:

а) при размещении магистральных волоков параллельно ветке

$$z_T = b_T k_{PM}\left(\frac{0{,}5d_y - a_0 - z}{2\sin\alpha} + \frac{a^2\sin\alpha}{d_y} + a_1\right) + \frac{b_П k_{PП} s_П}{2\sin\alpha}, \quad (8)$$

б) при размещении магистральных волоков параллельно усу

$$z_T = 0{,}5b_П k_{PП}\left(\frac{0{,}5d_y - z}{\sin\alpha} + \frac{2a^2\sin\alpha}{d_y} + a_1\right) + \frac{b_T k_{PM} s_П}{2\sin\alpha}, \quad (9)$$

где $s_П$ – ширина пасеки, км.

Удельные затраты на устройство трелевочных волоков z_{TB} составят:

а) при размещении магистральных волоков параллельно ветке

$$z_{TB} = \frac{0{,}5d_B - l_0}{50\gamma d_y d_B s_П}\left[C_{TM}k_{PM}\left(d_y - 2a_0 - 2z + 2a_1\sin\alpha\right) + \frac{C_{TП}k_{PП}\left(d_y - 2a_0 - 2z\right)\left(s_П - a_0\right)\sin\alpha}{2a_0}\right]; \quad (10)$$

б) при размещении магистральных волоков параллельно усу

$$z_{TB} = \frac{0{,}5d_B - l_0}{50\gamma d_y d_B s_П}\left[kC_{TM}k_{PM}\left(s_П - a_0 + a_1\sin\alpha\right) + \frac{C_{TП}k_{PП}s_П\left(d_y - 2a_0 - 2z\right)\sin\alpha}{2a_0}\right], \quad (11)$$

где γ – ликвидный запас древесины на 1 га, м^3/га;

d_B – ширина зоны тяготения к ветке, км;

l_0 – расстояние от оси ветки до границы лесосеки, км;

k – коэффициент, учитывающий расположение уса, при расположении уса по краю лесосеки k=1, при расположение со смещением или по середине k=2;

C_{TM} – стоимость устройства 1 км магистрального волока, р./км;

$C_{TП}$ – стоимость устройства 1 км пасечного волока, р./км.

Удельные затраты на строительство уса с погрузочными пунктами z_{YC} выразим следующей функцией:

$$z_{YC} = \frac{k_0 k_{PУ} C_У}{100\gamma d_y}, \quad (12)$$

где k_0 – коэффициент, учитывающий протяженность уса от ширины зоны тяготения ветки d_B;

$k_{PУ}$ – коэффициент развития уса;

$C_У$ – стоимость строительства 1 км уса с погрузочными пунктами, р.

Удельные затраты на вывозку древесины по усу z_{YB} составят

$$z_{YB} = \frac{d_B k_0 k_{PУ} b_У k_1}{2\sin\alpha}, \quad (13)$$

где $b_У$ – стоимость вывозки древесины по усу, р./(м^3·км);

k_1 – коэффициент, учитывающий среднее расстояние вывозки древесины по усу.

Удельные затраты на вывозку древесины по ветке z_B составляют

$$z_B = 0{,}5d_B k_{PB}\left(\frac{d_y}{\sin\alpha} - \frac{d_B\cos\alpha}{\sin\alpha} - 2a\right), \quad (14)$$

где b_B – стоимость вывозки древесины по ветке, р./(м^3·км);

k_{PB} – коэффициент развития ветки.

$$\frac{\partial z_B}{\partial a} = -b_B k_{PB};$$
$$\frac{\partial z_B}{\partial a} = \frac{0{,}5 b_B k_{PB}\left(d_B - d_У \cos\alpha\right)}{\sin^2\alpha}. \quad (15)$$

Для поиска оптимального угла примыкания уса к ветке α и смещения уса по направлению грузопотока a надо найти производные частного порядка от функции (1) по аргументам α и a. Функция (1) – аддитивная, а поэтому достаточно взять производные от ее аддитивных составляющих, определяемых зависимостями (8) – (14):

$$\frac{\partial z_{УВ}}{\partial a} = 0;\ \frac{\partial z_{УВ}}{\partial a} = -\frac{d_B k_0 k_{PУ} b_У k_1 \cos\alpha}{2\sin^2\alpha}. \quad (16)$$

$$\frac{\partial z_{УС}}{\partial a} = 0;\ \frac{\partial z_{УС}}{\partial \alpha} = 0. \quad (17)$$

При размещении магистральных волоков параллельно ветке:

$$\frac{\partial z_T}{\partial a} = \frac{2ab_T k_{PM}\sin\alpha}{d_У};\ \frac{\partial z_T}{\partial a} = \left(\frac{b_T k_{PM} a^2}{d_У} - \frac{b_T k_{PM}\left(0{,}5d_У - a_0 - z\right) + b_П k_{PП} s_П}{2\sin^2\alpha}\right)\cos\alpha; \quad (18)$$

$$\frac{\partial z_{TB}}{\partial a} = 0;\ \frac{\partial z_{TB}}{\partial \alpha} = \frac{\left(0{,}5d_B - l_0\right)\cos\alpha}{50\gamma d_У d_B s_П}\left[2C_{TM} k_{PM} a_1 + \frac{C_{TП} k_{PП}\left(d_У - 2a_0 - 2z\right)\left(s_П - a_0\right)}{2a_0}\right]. \quad (19)$$

При размещении магистральных волоков параллельно усу:

$$\frac{\partial z_T}{\partial a} = \frac{2k_{PП} b_П a\sin\alpha}{d_У};\ \frac{\partial z_T}{\partial a} = \left(\frac{a^2 b_П k_{PП}}{d_У} - \frac{\left(0{,}5d_У - z\right)k_{PП} b_П + b_T k_{PM} s_П}{2\sin^2\alpha}\right)\cos\alpha; \quad (20)$$

$$\frac{\partial z_{TB}}{\partial a} = 0;\ \frac{\partial z_{TB}}{\partial \alpha} = \frac{\left(0{,}5d_B - l_0\right)\cos\alpha}{50\gamma d_У d_B s_П}\left[kC_{TM} k_{PП} a_1 + \frac{C_{TП} k_{PП} s_П\left(d_У - 2a_0 - 2z\right)}{2a_0}\right]. \quad (21)$$

Сложив отдельно производные по a и по α, и, приравняв суммы к 0, получим системы уравнений, определяющих оптимальные значения смещения уса a и угла его примыкания к ветке α.

При размещении магистральных волоков параллельно ветке

$$\frac{2ab_T k_{PM}\sin\alpha}{d_У} = b_B k_{PB};$$

$$\frac{b_B k_{PB}\left(d_B d_У\cos\alpha\right)\sin\alpha}{2\sin^2\alpha} + \left(\frac{b_T k_{PM} a^2}{d_У} - \frac{b_T k_{PM}\left(0{,}5d_У - a_0 - z\right) + b_П k_{PП} s_П}{2\sin^2\alpha}\right)\cos\alpha + \quad (22)$$

$$+\frac{\left(0{,}5d_B - l_0\right)\cos\alpha}{50\gamma d_У d_B s_П}\left[2C_{TM} k_{PM} a_1 + \frac{C_{TП} k_{PП}\left(d_У - 2a_0 - 2z\right)\left(s_П - a_0\right)}{2a_0}\right] = \frac{d_B k_0 k_{PУ} b_У k_1\cos\alpha}{2\sin^2\alpha}.$$

Из первого уравнения системы (22) найдем, что $a\sin\alpha = \frac{b_B k_{PB} d_У}{2b_T k_{PM}}$. Второе уравнение системы (22) умножим на $2\sin^2\alpha$, с учетом первого уравнения после преобразований получим:

$$\left(A - B\right)\cos\alpha + B\cos^3\alpha = b_B k_{PB} d_B; \quad (23)$$

$$A = d_B k_0 k_{PУ} b_У k_1 + b_B k_{PB} d_У - \frac{b_B^2 k_{PB}^2 d_У}{2b_T k_{PM}} + b_T k_{PM}\left(0{,}5d_У - a_0 - z\right) + b_П k_{PП} s_П; \quad (24)$$

$$B = \frac{(0{,}5d_B - l_0)}{25\gamma d_У d_B s_П}\left[2C_{ТМ}k_{РМ}a_1 + \frac{C_{ТП}k_{РП}(d_У - 2a_0 - 2z)(s_П - a_0)}{2a_0}\right]. \quad (25)$$

При размещении магистральных волоков параллельно усу

$$\frac{2k_{РП}b_П \sin\alpha}{d_У} = b_B k_{РВ};$$

$$\frac{b_B k_{РВ}(d_B - d_У\cos\alpha)}{2\sin^2\alpha} + \left(\frac{k_{РП}b_П a^2}{d_У} - \frac{(0{,}5d_У - a_0 - z)k_{РП}b_П + b_Т k_{РМ}s_П}{2\sin^2\alpha}\right)\cos\alpha + \quad (26)$$

$$+\frac{(0{,}5d_B - l_0)\cos\alpha}{50\gamma d_У d_B s_П}\left[kC_{ТМ}k_{РМ}a_1 + \frac{C_{ТП}k_{РП}s_П(d_У - 2a_0 - 2z)}{2a_0}\right] = \frac{d_B k_0 k_{РУ} b_У k_1 \cos\alpha}{2\sin^2\alpha}.$$

Из первого уравнения системы (26) найдем, что $a\sin\alpha = \frac{b_B k_{РВ} d_У}{2k_{РП}b_П}$. Выполнив точно такие же действия, как в случае преобразования уравнений системы (22), получим зависимости:

$$(C - D)\cos\alpha + D\cos^3\alpha = b_B k_{РВ} d_B; \quad (27)$$

$$C = d_B k_0 k_{РУ} b_У k_1 + b_B k_{РВ} d_У - \frac{2k_{РП}b_П a^2 \sin\alpha}{d_У} + (0{,}5d_У - z)k_{РП}b_П + b_Т k_{РМ}s_П; \quad (28)$$

$$D = \frac{(0{,}5d_B - l_0)}{25\gamma d_У d_B s_П}\left[kC_{ТМ}k_{РМ}a_1 + \frac{C_{ТП}k_{РП}s_П(d_У - 2a_0 - 2z)}{2a_0}\right]. \quad (29)$$

Зависимости (23) – (29) позволяют рассчитать оптимальный угол примыкания уса к ветке с учетом размещения трелевочных волоков, что обеспечит на стадии проектирования сети лесных дорог и технологических процессов заготовки древесины снижение затрат на вывозку древесины.

Библиографический список

1. Ильин Б.А. Основы размещения лесовозных дорог в сырьевых базах лесозаготовительных предприятий. Л.: ЛТА, 1987. 63 с.

2. Афоничев Д.Н. Оптимизация размещения внутриплощадочных дорог в сырьевых базах лесозаготовительных предприятий // Природопользование: ресурсы, техническое обеспечение: межвуз. сб. научн. тр. / ВГЛТА. Воронеж, 2007. Вып. 3. С. 36–42.

3. Афоничев Д.Н. Размещение лесовозного уса на лесосеке // Вестник МГУЛа – Лесной вестник, 2009. № 3. С. 92–94.

4. Пядухов А.В. Размещение лесовозного уса на лесосеке с учетом направления грузопотока // Ресурсосберегающие и экологически перспективные технологии и машины лесного комплекса будущего: Матер. междунар. научн.-практич. конф., посвящ. 55-лет. лесоинженерного факультета ВГЛТА // ВГЛТА. Воронеж, 2009. С. 340–344.