

УДК 630\*383.2

*Д.Н. Афоничев, П.С. Рыбников*

Воронежская государственная лесотехническая академия

Афоничев Дмитрий Николаевич родился в 1972 г., окончил в 1995 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор ВГЛТА. Имеет более 200 научных работ в области совершенствования конструкций и систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог и сооружений промышленного транспорта, повышения ресурсо- и энергоэффективности промышленного транспорта.  
E-mail: dmafonichev@yandex.ru



Рыбников Павел Сергеевич родился в 1988 г., окончил в 2010 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии ВГЛТА. Имеет около 10 научных работ в области повышения эффективности и безопасности работы автопоездов на вывозке лесоматериалов из лесосек.  
E-mail: RibnikovPavelS@yandex.ru



## РАЗМЕЩЕНИЕ РАЗВОРОТНЫХ ПЕТЕЛЬ НА ЛЕСОВОЗНОМ УСЕ

Получены аналитические зависимости, определяющие увеличение себестоимости вывозки древесины за счет устройства разворотных петель, необходимых для обеспечения быстрого и безопасного разворота автомобильного подвижного состава на лесовозных усах в пределах лесосек, учитывающие параметры, которые характеризуют положение уса на лесосеке. Указанные зависимости позволяют установить оптимальное положение разворотных петель на лесовозных усах, обеспечивающих минимальные затраты на устройство, содержание и ликвидацию разворотных петель и дополнительный пробег автопоездов по усу для совершения маневра разворота.

*Ключевые слова:* лесовозный ус, разворотная петля, размещение, затраты, дополнительный пробег, расстояние, погрузочный пункт.

На лесовозных усах для обеспечения разворота подвижного состава устраивают разворотные петли [1, 7, 9]. В работе [1] установлено оптимальное расстояние между разворотными петлями исходя из минимизации затрат на их устройство и перепробег подвижного состава по усу без груза. Анализ зависимостей, представленных в этой работе, показывает, что расстояние между разворотными петлями зависит от расстояния между погрузочными пунктами и количества погрузочных пунктов, находящихся между петлями. При этом принято, что расстояние между погрузочными пунктами, расположенными в части лесосеки со стороны магистрали, равно расстоянию между погрузочными пунктами, расположенными в части лесосеки со стороны границы лесосырьевой базы. Данное положение абсолютно справедливо при расположении уса посередине лесосеки. Если ус прокладывается со смещением от середины лесосеки в сторону магистрали, то вышеуказанные расстояния не будут равны из-за разной глубины пасек, а погрузочные пункты по обеим сторонам уса будут располагаться, как показано на рисунке.

© Афоничев Д.Н., Рыбников П.С., 2012

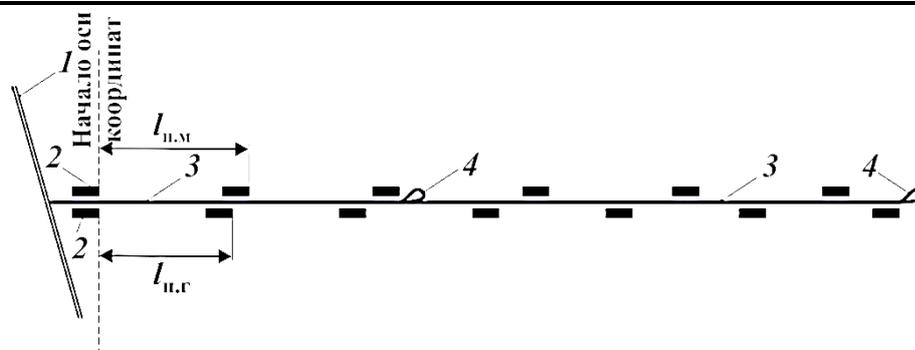


Схема размещения погрузочных пунктов и разворотных петель ( $l_{п.м}$  – расстояние между погрузочными пунктами со стороны магистрали;  $l_{п.г}$  – то же со стороны границы лесосырьевой базы): 1 – ветка; 2 – погрузочный пункт; 3 – ус; 4 – разворотная петля

Целесообразность смещения уса в сторону магистрали обоснована в работе [5]. Таким образом, аналитические зависимости, приведенные в работе [1], не применимы для случая размещения уса на лесосеке со смещением в сторону магистрали.

Обоснование расстояний между разворотными петлями на лесовозном усе необходимо для снижения затрат на устройство временных путей внутри лесосеки. Расположение разворотной петли на некотором удалении от погрузочного пункта приводит к дополнительному пробегу автопоездов без груза по усу, причем этот дополнительный пробег на один рейс будет вдвое больше расстояния от погрузочного пункта до разворотной петли. Если обозначить расстояние от некоторого  $j$ -го погрузочного пункта до начала разворотной петли  $S_j$ , то дополнительный пробег без груза на один рейс

$$l_{дхj} = 2S_j + L_p + l_p, \quad (1)$$

где  $L_p$  – протяженность разворотной петли, км;

$l_p$  – протяженность уса в пределах разворотной петли – расстояние от начала разворотной петли до ее конца, км.

В случае, когда разворотная петля расположена сразу после  $j$ -го погрузочного пункта, дополнительный пробег без груза на один рейс будет минимальным:

$$l_{дхj} = 2a_y + L_p + l_p,$$

где  $a_y$  – установочное расстояние, зависящее от технологического процесса лесосечных работ, км.

Количество рейсов автопоездов с погрузочного пункта зависит от объема вывозки древесины с данного погрузочного пункта  $q_j$  и полезной нагрузки на автопоезд  $Q_{п}$ . Если вывозка производится одним типом подвижного состава, то количество рейсов к  $j$ -му погрузочному пункту

$$n_{pj} = \frac{q_j}{Q_{п} k_{п}}, \quad (2)$$

где  $k_{п}$  – коэффициент использования полезной нагрузки.

Дополнительный пробег автопоездов без груза для вывозки древесины из  $j$ -го погрузочного пункта  $L_{дXj} = n_{pj} l_{дXj}$ , при подстановке формул (1) и (2) в это равенство получаем

$$L_{дXj} = \frac{q_j (2S_j + L_p + l_p)}{Q_{п} k_{п}}. \quad (3)$$

Если к разворотной петле примыкают  $p_{р,п}$  погрузочных пунктов, то дополнительный пробег, обусловленный принятой схемой их размещения, составит

$$L_{дXп} = \sum_{j=1}^{p_{р,п}} L_{дXj}. \quad (4)$$

Указанный дополнительный пробег  $L_{дXп}$  связан с объемом вывозки древесины  $q_{п,р}$  с  $p_{р,п}$  погрузочных пунктов:

$$q_{п,р} = \sum_{j=1}^{p_{р,п}} q_j. \quad (5)$$

Параметр  $L_{дXп}$  приводит к увеличению транспортной составляющей себестоимости вывозки древесины. Анализ параметров, влияющих на транспортную составляющую, показывает, что из всех статей затрат только одна чувствительна к увеличению пробега  $L_{дXп}$  – это затраты на эксплуатацию и восстановление подвижного состава. Часть от этих затрат, обусловленную дополнительным пробегом  $L_{дXп}$ , назовем дополнительными затратами на эксплуатацию и восстановление подвижного состава:

$$z_{д.п.с} = q_{т.д} z_{т} k_{э} + L_{дXп} \left[ \frac{n_{ш.т} z_{ш.т}}{l_{ш.т}} + z_{о.т} + k_L n_{п} \left( \frac{n_{ш.п} z_{ш.п}}{l_{ш.п}} + z_{о.п} \right) + 10^{-5} C_{б.т} n_{а.т} \right], \quad (6)$$

где  $q_{д.т}$  – дополнительный расход топлива, связанный с дополнительным пробегом  $L_{дXп}$ , л;  
 $z_{т}$  – стоимость топлива, р./л;  
 $k_{э}$  – коэффициент, учитывающий затраты на эксплуатационные материалы (смазочные и специальные жидкости);  
 $n_{ш.т}$  и  $n_{ш.п}$  – количество колес (шин) без запасных соответственно у тягача и прицепа;  
 $z_{ш.т}$  и  $z_{ш.п}$  – балансовая стоимость шины соответственно тягача и прицепа, р.;  
 $l_{ш.т}$  и  $l_{ш.п}$  – норма пробега для шин соответственно тягача и прицепа, км;  
 $z_{о.т}$  и  $z_{о.п}$  – затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт соответственно тягача и прицепа, р./км;  
 $k_L$  – коэффициент, учитывающий снижение пробега прицепа;  
 $n_{п}$  – количество прицепов в автопоезде;  
 $C_{б.т}$  – балансовая стоимость тягача, р.;  
 $n_{а.т}$  – норма амортизационных отчислений для тягача, %.

Дополнительный расход топлива  $q_{т.д}$  можно найти, используя зависимость, приведенную в работах [3, 4]:

$$q_{т.д} = 0,01kL_{дхп} [q_{п} + q_{г} (n_{п}M_{п} + M_{п.р})]. \quad (7)$$

Здесь  $k$  – коэффициент, учитывающий дополнительный расход топлива на разогрев двигателя при работе в зимнее время на временных дорогах;

$q_{п}$  – норма расхода топлива на 100 км пробега автомобиля, л;

$q_{г}$  – норма расхода топлива на 100 т · км грузовой работы, л;

$M_{п}$  – снаряженная масса прицепа (без груза), т;

$M_{п.р}$  – эксплуатационная масса погрузочно-разгрузочного средства, установленного на автопоезде, т.

Количество разворотных петель влияет на дорожную составляющую себестоимости вывозки древесины. Стоимость устройства, содержания и ликвидации одной разворотной петли ( $c_{п.р}$ , р.) определяется ее протяженностью  $L_p$  [1], которая в свою очередь зависит от радиуса петли  $r$ , удельной стоимости устройства, содержания и ликвидации 1 км разворотной петли данного типа  $z_{п.р}$ . Очевидно,  $z_{п.р}$  тоже связана с  $r$ , так как от последнего зависит уширение проезжей части на кривой. Таким образом, ведущим фактором, обуславливающим стоимость разворотной петли, является ее радиус. Другим весомым фактором, определяющим  $z_{п.р}$ , а следовательно, и стоимость петли, является тип покрытия. На основе вышеприведенного можно записать  $c_{п.р} = z_{п.р}L_p$ .

Если к разворотной петле примыкают  $p_{п.п}$  погрузочных пунктов, то затраты на устройство, содержание и ликвидацию этой петли в дорожной составляющей себестоимости вывозки древесины будут равны отношению  $c_{п.р}$  к объему вывозки древесины с этих погрузочных пунктов, т. е. к  $q_{п.р}$ , определяемому по формуле (5). В любом случае, чем больше объем вывозки с погрузочных пунктов, примыкающих к разворотной петле, тем доля затрат на устройство, содержание и ликвидацию разворотных петель в себестоимости вывозки будет меньше, следовательно для снижения дорожной составляющей количество разворотных петель на одном усе должно быть минимальным.

Исходя из условия обеспечения безопасного разворота транспортных средств в пределах лесосеки, при однотипной конструкции уса достаточно иметь одну разворотную петлю, а если в конструкции уса выделяется головной участок с применением какого-либо типа дорожного покрытия, то достаточно две петли – в конце соответственно головного и глубинного участков уса, так как пробег автотранспортных средств без груза по усу для совершения маневра разворота не оказывает существенного влияния на продолжительность рейса и производительность вывозки [6]. Такой подход приведет к повышению транспортной составляющей себестоимости вывозки за счет увеличения холостого пробега транспортных средств, причем дополнительный пробег без груза, определяемый выражением  $q_i(L_p + l_p)/Q_{п}k_{п}$ , будет иметь место для всех, кроме последнего, погрузочных пунктов, примыкающих

к разворотной петле (см. рисунок). Таким образом, устройство одной разворотной петли приведет к повышению себестоимости вывозки древесины на  $z_d$ , которая должна быть минимальной:

$$z_d = \frac{z_{д.п.с} + c_{п.р}}{q_{п.р}} \rightarrow \min. \quad (8)$$

Целевая функция (8) включает показатели, которые рассчитываются в зависимости от размещения погрузочных пунктов и разворотных петель ( $z_{д.п.с}$  и  $q_{п.р}$ ), определяемых зависимостями (3) – (7). Анализ этих зависимостей показывает, что переменной величиной, влияющей на функцию  $z_d$ , является количество погрузочных пунктов  $p_{р.п}$ , примыкающих к разворотной петле, причем каждый из этих пунктов характеризуется своим объемом вывозки  $q_j$  и расстоянием до начала разворотной петли  $S_j$ . Последнее является функцией расстояний между погрузочными пунктами, которые обозначены  $l_{п.м}$  и  $l_{п.г}$ , и требует установления для любого возможного варианта взаиморасположения разворотной петли и погрузочных пунктов.

Введем ось координат  $X$  (см. рисунок), направленную вдоль направления уса. Начало оси совпадает с началом разворотной петли, размещаемой после погрузочного пункта № 1 (нумерация начинается от ветки и ряда со стороны границы зоны тяготения магистрали). Любое положение разворотной петли будет определяться координатой  $x_e$  (индекс  $e$  – это номер погрузочного пункта, после которого расположена петля). Координата  $j$ -го погрузочного пункта  $x_j$  зависит от его номера и размещения уса на лесосеке. Для погрузочных пунктов № 1 и № 2 при размещении уса со смещением  $x_1 = x_2 = -a_y$ , для погрузочного пункта № 1 при размещении уса по краю лесосеки  $x_1 = -a_y$ .

Расстояние от погрузочного пункта до разворотной петли  $S_{ej}$  – разность координат начала петли  $x_e$  и погрузочного пункта  $x_j$ :

$$S_{ej} = k_{р.у}(x_e - x_j), \quad (9)$$

где  $k_{р.у}$  – коэффициент удлинения уса.

В символе формулы (9), обозначающем расстояние от погрузочного пункта до разворотной петли, введен дополнительный индекс  $e$ , который определяет положение самой петли.

Если погрузочные пункты расположены по обе стороны уса, то со стороны границы зоны тяготения магистрали погрузочные пункты будут иметь нечетные номера (1, 3, 5, ...), со стороны магистрали – четные (2, 4, 6, ...). Пользуясь схемой, показанной на рисунке, можно получить зависимости для определения координат погрузочных пунктов  $x_j$  в принятой системе отсчета. Для нечетных номеров:  $x_1 = -a_y$ ;  $x_3 = -a_y + l_{п.г}$ ;  $x_5 = -a_y + 2l_{п.г}$ ;  $x_7 = -a_y + 3l_{п.г}$ . Учитывая взаимосвязь между индексом координаты и коэффициентом при  $l_{п.г}$  имеем

$$x_j = -a_y + 0,5l_{п.г}(j - 1). \quad (10)$$

Для четных номеров:  $x_2 = -a_y$ ;  $x_4 = -a_y + l_{п.м}$ ;  $x_6 = -a_y + 2l_{п.м}$ ;  $x_8 = -a_y + 2l_{п.м}$ . Учитывая взаимосвязь между индексом координаты и коэффициентом при  $l_{п.м}$ , получаем

$$x_j = -a_y + l_{п.м}(0,5j - 1). \quad (11)$$

Координата начала разворотной петли  $x_e$  устанавливается аналогично в зависимости от номера погрузочного пункта, после которого она расположена:  
для нечетных номеров

$$x_e = 0,5l_{п.г}(e - 1); \quad (12)$$

для четных номеров

$$x_e = l_{п.м}(0,5e - 1). \quad (13)$$

В случае расположения уса по краю лесосеки, когда все погрузочные пункты размещены по одной стороне уса (со стороны границы зоны тяготения магистрали), их нумерация будет сквозной, т. е. 1, 2, 3, ... Координаты погрузочных пунктов в этом случае:  $x_1 = -a_y$ ;  $x_2 = -a_y + l_{п.г}$ ;  $x_3 = -a_y + 2l_{п.г}$ ;  $x_4 = -a_y + 3l_{п.г}$ , а в общем виде

$$x_j = -a_y + l_{п.г}(j - 1). \quad (14)$$

В рассматриваемом случае координата начала разворотной петли

$$x_e = l_{п.г}(e - 1). \quad (15)$$

Из формул (9) – (15) следует, что изменение расстояний от начала разворотной петли до погрузочных пунктов происходит дискретно в зависимости от номеров  $e$  и  $j$ . Таким образом, поиск оптимального положения разворотной петли по целевой функции (8) следует производить имитационным моделированием с заданием различных положений разворотной петли, определяемых индексом  $e$ . Для этой цели разработана программа для ЭВМ [8], реализующая вычислительную процедуру расчета повышения себестоимости вывозки древесины  $z_d$  с выбором ее минимального значения. Использование данной программы позволяет определить номер погрузочного пункта, после которого надо устроить разворотную петлю, что при планировании транспортной инфраструктуры внутри лесосеки позволяет исключить дополнительные расходы на устройство, содержание и ликвидацию разворотных петель или на перепробег автотранспортных средств для совершения маневра разворота. При этом основной экономический эффект обеспечивается за счет смещения уса в сторону магистрали и его примыкания к ветке под оптимальным углом, что снижает затраты на трелевку лесоматериалов и их вывозку по ветке [2].

#### *Выводы*

1. Полученные аналитические зависимости позволяют определить дополнительные удельные затраты на устройство разворотных петель и перепробег автомобильного подвижного состава в пределах лесовозного уса в зависимости от параметров размещения уса и погрузочных пунктов на лесосеке.

2. Разработанная методика определения оптимального положения разворотных петель на лесовозном усе позволяет на стадии планирования транспортной инфраструктуры внутри лесосеки исключить дополнительные расходы либо на устройство, содержание, ликвидацию разворотных петель, либо на перепробег автомобильного подвижного состава без груза по лесовозному усу.

3. Разработанная программа для ЭВМ, реализующая вычислительную процедуру расчета повышения себестоимости вывозки древесины с выбором ее минимального значения, позволяет за короткое время установить положение разворотных петель для лесосек, имеющих различные природные и технологические характеристики, с учетом возможного изменения конструкции покрытия по протяженности лесовозного уса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афоничев Д.Н.* Размещение петлевых разворотов на лесовозных усах // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2010. № 6. С. 93–96.
2. *Афоничев Д.Н., Рыбников П.С.* Обоснование углов примыкания лесовозных усов к веткам // Научн. журн. КубГАУ. 2012. № 03(77). 11 с. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/03/pdf/13.pdf>.
3. *Драпалюк М.В., Афоничев Д.Н.* Алгоритм управления поставками горюче-смазочных материалов // Научн. журн. КубГАУ. 2011. № 10(74). 10 с. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/25.pdf>.
4. *Драпалюк М.В., Афоничев Д.Н.* Модель управления поставками горюче-смазочных материалов автотранспортными средствами // Программные продукты и системы. 2009. № 3. С. 114–116.
5. *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.-практ. конф., посвященной 55-летию лесоинженерного факультета ВГЛТА. Воронеж, 2009. С. 340–344.
6. *Рыбников П.С.* Потери времени лесовозными автопоездами на развороты в пределах лесосек // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2012. № 2. С. 116–120.
7. *Рыбников П.С.* Размещение временных автомобильных дорог в лесосеках // Лесотехн. журн. / ВГЛТА. 2011. № 3. С. 88–98.
8. Свид-во о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012611501. Программа оптимизации параметров размещения разворотных петель на лесовозном усе / П.С. Рыбников, Д.Н. Афоничев, С.Ю. Кузнецов. Заявл. 13.12.2011, зарегистр. 09.02.2012.
9. Сухопутный транспорт леса / Под ред. В.И. Алябьева. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 416 с.

Поступила 20.09.11

*D.N. Afonichev, P.S. Rybnikov*

Voronezh State Forest Engineering Academy

#### **Allocation of U-Turn Loops of the Logging Haul Road Feeders**

The analytic dependences between U-turn loops of haul road feeders layout and cost of haulage have been obtained. Provisions for fast and safe circuit turning of the log trucks in a logging site were made. The study results allow to determine optimal placement of the turning loops of haul road feeders what in it's turn provides minimizing of costs for construction, maintenance and demolition of logging roads elements as well as spare log trucks run.

*Key words:* logging haul road feeder, u-turn loop, placement, costs, spare truck run, distance, loading site.

---