

Моделирование транспортно-технологического процесса освоения лесосек со слабыми несущими способностями грунтов

В. Н. Меньшиков¹

М. В. Цыгарова

Санкт-Петербургская ЛТА

В работе рассматривается модель транспортно-технологического процесса освоения лесосеки. Предлагаются формулы для определения площади, подвергшейся воздействию лесозаготовительной техники, а также предложены показатели для оценки качества планировки лесосеки.

Ключевые слова: транспортно-технологический процесс, планировка лесосеки, критическое число рейсов, повреждение почвы.

При разработке лесосек в современных условиях очень важным является максимальное сохранение экологической среды лесосеки (почвенный покров, подрост). Решению этой задачи в значительной мере способствует осуществление рационального транспортно-технологического процесса освоения лесосеки, включая лесовосстановление, при котором отрицательное воздействие лесозаготовительной техники на экологическую среду было бы минимальным.

Отрицательное воздействие техники на экологическую среду происходит через трелевочные волока, лесопогрузочные пункты, лесовозные усы, с учетом их размещения на лесосеке и занимаемой площади.

В качестве основного метода решения поставленной задачи используется определение числа проходов трелевочного трактора (и другой лесосечной техники) по волоку до момента образования колеи, глубиной не более критической, при которой до определенного предела снижается скорость движения трактора и его производительность. В качестве показателя эффективности выполненной планировки лесосеки, с учетом изложенного, примем эксплуатационные затраты на комплексное освоение, включающее все виды работ на лесосеке (подготовка, заготовка, лесовосстановление). Причем следует учитывать, что все эти виды работ взаимосвязаны и это должно быть отражено в общей математической модели.

Пусть имеем лесосеку с показателями

$$S_{\text{пас.}} = \frac{Bh}{10^4}, \quad Q_{\text{пас.}} = \frac{Bhq}{10^4}, \quad (1)$$

где $S_{\text{пас.}}$, B , h - площадь, длина и ширина пасеки;
 $Q_{\text{пас.}}$, q - запас леса на пасеке и на 1 га, м³.

Число рейсов $n_{\text{рейс.}}$ трелевочного трактора с одной пасеки

$$n_{\text{рейс.}} = \frac{Bhq}{10^4 M} = \frac{B}{l_n}, \quad (2)$$

где M - нагрузка на рейс, м³;

l_n - длина ленты набора пачки, м.

Нагрузка на рейс в выражении (2) на практике может ограничиваться следующими условиями: технической характеристикой трактора, нормативами, сцеплением, нагрузкой на коник, повреждением почвы.

Из научно-исследовательских работ известно, что после определенного числа проходов трактора (числа рейсов) глубина колеи трелевочного волока возрастает и при определенных условиях трелевка становится или затруднительной, или невозможной. Обозначим такое число проходов через $n_{\text{крит.}}$ - критическое число рейсов. Тогда длина пасеки для этих условий $B_{\text{крит.}}$ составит

$$B_{\text{крит.}} = \frac{n_{\text{крит.}} 10^4 M}{hq}. \quad (3)$$

Обозначим размер стороны лесосеки, параллельно которой расположена пасека, через B . Тогда число пасек с критической длиной $B_{\text{крит.}}$ вдоль этой стороны составит

$$B / B_{\text{крит.}} = n_{\text{пас. крит.}} \quad (4)$$

Число $n_{\text{пас. крит.}}$ должно быть обязательно четным числом, а $2B_{\text{крит.}}$ - это расстояние между усами на лесосеке или магистральными волоками. Увеличение этого расстояния осуществляется за счет порубочных остатков, укладываемых на волок. Чтобы обеспечить это условие, необходимо варьировать в выражении (3) двумя показателями: или M , или h . Объем пачки должен быть для определенных условий более постоянен, поэтому варьировать можно величиной h . С другой стороны, четное число $n_{\text{пас. крит.}}$ кроме схем 1-10 получим при условии, что

$$B_{\text{крит.}} = \frac{B}{2n_{\text{ус.}}}, \quad (5)$$

¹ Авторы - соответственно профессор и аспирант
© В. Н. Меньшиков, М. В. Цыгарова, 1999

Отсюда

$$n_{ус} = \frac{B}{2B_{крит}}, \quad (6)$$

где $n_{ус}$ - число лесовозных усов или магистральных волоков на лесосеке.

Приравняем выражения (3) и (5) и, сделав преобразования относительно h , получим:

$$h = \frac{n_{крит} \cdot 10^4 M 2 n_{ус}}{Bq}. \quad (7)$$

Следует учитывать также, что ширина пасаки h оказывает влияние на следующие показатели:

- производительность трелевочного трактора;
- экологию вырубки.

В первом случае

$$P_{ч} = f(M, V), \quad V = f(M), \quad M = f(h),$$

где V - скорость движения трактора с пачкой.

Во втором случае: чем меньше h , тем больше площадь под пасечными волоками, меньше площадь продуцирования и больше затрат на лесовосстановление. А кроме пасечных волоков отрицательному воздействию подвергается площадь, занятая под магистральные трелевочные волока и погрузочные пункты, под просеки для лесовозных усов, под объездные волоки, под обустройство мастерского участка.

Общая отмеченная площадь составит

$$S_{п} = S_{вп} + S_{во} + S_{вм} + S_{пл} + S_{пп} + S_{у} + S_{о.м.у.}, \quad (8)$$

где $S_{п}$ - общая теоретическая площадь, подвергшаяся отрицательному воздействию лесозаготовительной техники;

$S_{вп}$, $S_{во}$, $S_{вм}$, $S_{пл}$, $S_{пп}$, $S_{у}$, $S_{о.м.у.}$ - то же, соответственно на пасечных, объездных, магистральных волоках, на полулентах (полупасаках), на погрузочном пункте, на просеке под лесовозный ус и под обустройство мастерского участка.

Для определения этих площадей предлагаются следующие формулы:

$$S_{вп} = \frac{A}{h} K_4 b [(B - 0.5h n_{уч}) K_0], \quad (9)$$

$$S_{во} = l_{во} n_{пп}, \quad (10)$$

$$S_{пп} = \{[(H \alpha_1 \alpha_2 + b_1 + b_2) b_3] n_{пп}\} n_{уч}, \quad (11)$$

$$S_{вм} = b l_{мв} [b (A K_0 K_4 - (H \alpha_1 \alpha_2 + b_1 + b_2) n_{пп})] n_{уч}, \quad (12)$$

$$S_{у} = L_{ус} b_4, \quad S_{о.м.у.} = S_{о.м.у.} n_{об}, \quad (13)$$

$$S_{пл} = \frac{A}{\Delta} B [(\Delta - b - \Delta_{пл})], \quad (14)$$

где b - ширина колеи трелевочного трактора или лесозаготовительной машины;

K_4 - коэффициент, учитывающий уширение трелевочного волока в процессе эксплуатации (зависит от почвенных условий);

h - ширина пасаки (при использовании на валке машин вместо h подставляется Δ - ширина разрабатываемой ленты);

K_0 - коэффициент, учитывающий непрямолинейность пасечных и магистральных волоков, $K_0 = 1 \dots 1,2$;

$n_{уч}$ - количество участков лесосеки, расположенных по разным сторонам лесовозного уса;

$l_{во}$ - длина объездного трелевочного волока вокруг лесопогрузочного пункта для разворота пачек хлыстов (деревьев) комлями в сторону вывозки;

$n_{пп}$ - общее число лесопогрузочных пунктов на лесосеке при оптимальном варианте ее разработки;

H - средняя высота древостоя или деревьев по породам;

α_1 - коэффициент, учитывающий снижение средней длины деревьев (хлыстов) за счет оставляемого пня и обрезанной или обломившейся вершины;

α_2 - коэффициент, учитывающий вид вывозимого леса ($\alpha_2 = 1$ - при вывозке деревьев, $\alpha_2 = 2$ - при вывозке хлыстов);

b_1 - ширина прохода сучкорезной машины (для ЛП-30Б и ЛП-33 $b_1 = 4 \dots 5$ м);

b_2 - ширина проезда для трактора при выравнивании комлей деревьев (хлыстов), при обрезке сучьев машинами ЛП-30Б, ЛП-33 $b_2 = 10$ м;

b_3 - ширина (глубина) лесопогрузочного пункта;

b_4 - ширина ленты леса, вырубленной под просеку для лесовозного уса;

$l_{мв}$ - общая длина магистральных волоков на лесосеке;

$L_{ус}$ - общая длина лесовозных усов на лесосеке или ее части;

$S_{об}$ - площадь лесосеки, отводимая под обустройство одного мастерского участка;

$P_{об}$ - количество обустроенных площадок на лесосеке.

Ширина колеи трелевочных тракторов или лесозаготовительных машин, выпускаемых в настоящее время, составляет 2,5...3 м. Ширина колеи - это минимальная ширина проезжей части, к которой нужно стремиться при разработке лесосеки. Однако в процессе эксплуатации неизбежно происходит уширение волока за счет габаритов по ширине трелевочных пачек, а также отклонения трактора от первоначального следа и с выходом с волока на полупасеку в результате снижения проходимости по первоначальному следу.

На уширение волока влияет также степень его искривленности. Если волок имеет повороты, вызванные желанием обойти, например куртины подроста, то при трелевке пачек деревьев происходит уширение волока на одностороннем повороте на 1...4 м, а при трелевке хлыстов - на 0,5...2,5 м. Если же волок имеет двухсторонние повороты, расположенные друг от друга на небольшом расстоянии, то уширение волока может быть еще больше. Изложенное учитывается в формулах (9-12) коэффициентами K_0 и K_4 .

Для оперативной оценки качества планировки лесосек предлагаются следующие показатели:

- удельная площадь общего отрицательного воздействия лесозаготовительной техники на заготовку 1 м³ древесины

$$S_n^{уд} = \frac{S_n}{Q}, \text{ м}^2/\text{м}^3 \text{ (га/м}^3\text{)}; \quad (15)$$

- удельная площадь трелевочных волоков, пасечных и магистральных, на заготовку 1 м³ древесины

$$S_{вол}^{уд} = \frac{S_{еп} + S_{во} + S_{вм}}{Q}; \quad (16)$$

- удельная длина трелевочных волоков на заготовку 1 м³ древесины

$$L_{вол}^{уд} = \frac{L_{еп} + L_{во} + L_{вм}}{Q} \text{ (м/м}^3\text{)}; \quad (17)$$

- удельная длина трелевочных волоков и лесовозных усов на заготовку 1 м³ древесины

$$L_{вол+ус}^{уд} = \frac{L_{еп} + L_{во} + L_{вм} + L_{ус}}{Q}; \quad (18)$$

- процент площади лесосеки без повреждения почвенного покрова

$$S_{снт} = \frac{S_{л} - S_n - S_{лф}}{S_{сл}} 100\%, \quad (19)$$

где $S_{лф}$ - площадь лесосеки, на которой отсутствовал древостой и которая представляет лесокультурный фонд.

Площади и длины в выражениях (15-19) должны определяться для оптимальных (рациональных) схем освоения лесосек, когда эксплуатационные затраты минимальны.

В формулах (9-14) ширина разрабатываемых пасек h и лент Δ , как отмечалось выше, оказывает влияние на производительность машин и трелевочных тракторов, экологическую обстановку на лесосеке (вырубке). Эти показатели влияют также и на последующие лесовосстановительные работы. Известно, что ширина полос на свежих вырубках, на которых производится корчевка пней и последующая посадка, составляет 4...4,5 и 2...2,5 м в зависимости от того, какой вид лесохозяйственных машин применяется.

Эти полосы чередуются с нерасчищенными, шириной соответственно 3 и 2 м. С учетом данных рекомендаций расстояние h или Δ между осями трелевочных волоков при их ширине 5 м и число лент - $n_{л}$ должно быть

$h, \Delta, \text{ м:}$ 9-9,5 16-17 23-24,5 30-32
37-39,5 44-47 54-54,5

$n_{л}, \text{ лент:}$ 1 2 3 4 5 6 7;

$h, \Delta, \text{ м:}$ 11-12 15-16,5 19-21 23-25,5 27-30 31-34,5
35-39

$n_{л}, \text{ лент:}$ 2 3 4 5 6 7 8.

Таким образом, принимаемая ширина пасек и лент в формулах (2, 3, 9-14) должна соответствовать рекомендуемым размерам.

Приведенные рекомендации позволяют определить общую протяженность обработанных полос на вырубке $L_{п,р}$ (при раскорчевке, вспашке, посадке), что, в свою очередь, позволяет определить затраты времени на обработку вырубki по каждой операции T_0 и производительность лесовосстановительных машин $\Pi_{га/ч}$ и $\Pi_{га/смена}$ на каждом виде работ с учетом разработки лесосек и применяемых лесосечных машин

$$T_0 = \frac{L_{лл}}{V_{об}} + \frac{AK_0}{V_{xx}}, \quad (20)$$

$$П_ч = \frac{S_{л}}{T_0}, \quad (21)$$

$$П_ч = \frac{S_{об}}{T_0}, \quad (22)$$

где $V_{об}$, V_{xx} - скорость движения лесовосстановительной машины при выполнении технологической работы и на холостом переездах;

$S_{л}$ - площадь (вырубки) лесосеки, га/ч;

$S_{об}$ - площадь обработанных полос, га/ч.

При выборе ширины пасек и лент следует учитывать также, что, например, производительность валочно-пакетирующих машин типа ЛП-19 повышается при увеличении Δ до определенной величины в зависимости от таксационной характеристики лесосеки.

В формулах (8-13) с учетом схем разработки лесосек имеет место тесная взаимосвязь практически всех показателей, что в конечном счете позволит определить общие эксплуатационные показатели освоения лесосеки.

Математическая модель для поиска оптимального варианта транспортно-технологического процесса освоения, а следовательно, и планировки лесосеки будет иметь вид

$$C_0 = (C_{стр}^{yc} + C_{cod}^{yc})L_{yc} + (C_{стр}^{эм} + C_{cod}^{эм})L_{эм} + (C_{стр}^{ен} + C_{cod}^{ен})L_{ен} + C^{nn}(n_{nn} + n_{nn1}) + C_{nl}S_{л} + \frac{C^{mm1}Q}{M^{nn}T_{см}\varphi_1} \left[(t_n^{mm1} + t_p^{mm1}) + K_0 \left(\frac{K_1^1 B}{2n_{yc}} + \frac{K_2^1 A}{n_{nn1}} + K_3 X_1 \right) \right] + \left[\left(\frac{1}{V_{xx1}^{mm1}} + \frac{1}{V_{xx1}^{mm1}} \right) \right] + \frac{C^{mm2}QK_4}{M_n^{mm2}T_{см}\varphi_1}$$

$$\left[(t_n^{mm2} + t_p^{mm2}) + L_{mp}^{mm2} \left(\frac{1}{V_{xx2}^{mm2}} + \frac{1}{V_{xx2}^{mm2}} \right) \right] + \frac{C^{enm}Q}{\Pi_{см}^{enm}} + \frac{C^{om}Q}{\Pi_{см}^{om}} + \frac{C^{bn}Q}{\Pi_{см}^{bn}} + \frac{C^n Q}{\Pi_{см}^n} + \frac{C^e Q}{\Pi_{см}^e} + C^{лв}S_{л}, \quad (23)$$

$$\frac{K_1^1 B}{2n_{yc}} = K_1^1 B_{крит} = K_1^1 n_{крит} l_n = \frac{K_1^1 n_{крит} 10^4 M}{hq} \quad (24)$$

где $C_{стр}^{yc}$, C_{cod}^{yc} - стоимость строительства, содержания 1 км уса, руб.;

$C_{стр}^{эм}$, $C_{cod}^{эм}$ - стоимость строительства, содержания 1 км магистрального волокна, руб.;

$C_{стр}^{ен}$, $C_{cod}^{ен}$ - стоимость строительства, содержания пасечных волоков, руб.;

C^{nn} - стоимость строительства, содержания и обустройства одного погрузочного пункта, руб.;

$S_{л}$ - площадь лесосеки, га;

L_{yc} - длина лесовозного уса, км;

$L_{вм}$ - длина магистрального волокна, км;

$L_{вп}$ - длина пасечных волоков, км;

Π_{nn} , Π_{nn1} - число погрузочных пунктов на лесосеке и за ее пределами;

C^{mm1} - стоимость машино-смены трелевочного трактора на первом этапе трелевки, руб./см;

Q - запас древесины на лесосеке, м³;

$T_{см}$ - продолжительность рабочей смены, ч;

φ_1 - коэффициент использования рабочей смены, ч;

M^{nn} - объем пачки, трелеваемой на первом этапе, м³;

M_n^{mm2} - объем пачки, трелеваемой на втором этапе, м³;

t_n^{mm1} , t_p^{mm1} - продолжительность погрузки и разгрузки пачки на первом этапе;

K_1^1 , K_2^1 - коэффициенты, учитывающие схему расположения трелевочных волоков (схему разработки лесосеки);

Π_{yc} - число лесовозных усов на лесосеке;

X_1 - расстояние от лесосеки до промежуточного пункта, между лесосекой и веткой, км;

V_{xx1}^{mm1} , V_{xx1}^{mm1} - скорость транспортировки (вывозки) на первом этапе;

$V_{zx2}^{mm2}, V_{xx2}^{mm2}$ - скорость транспортировки (вывозки) на втором этапе;

K_3 - коэффициент, учитывающий непрямолинейность расстояния X_1 ;

K_4 - коэффициент, учитывающий технологический вариант разработки лесосеки, транспортировку леса в два этапа и тип транспортной машины;

L_{tr}^{mm2} - расстояние трелевки на втором этапе, км;

$\Pi_{см}^{впм}, C_{впм}$ - производительность и стоимость машино-смены валочно-пакетирующей машины;

$\Pi_{см}^{ом}, C_{ом}$ - то же обрабатывающей машины;

$\Pi_{см}^{бп}, C_{бп}$ - то же бензопилы;

$\Pi_{см}^n, C^n$ - то же погрузчика;

$\Pi_{см}^в, C^в$ - то же валочной машины;

$C^{лв}$ - стоимость 1 га лесовосстановительных работ, включая и затраты на очистку вырубок, руб/га.

По данной модели разработана программа для ЭВМ, по которой можно выполнить решение широкого круга вопросов.