

Доцент В. ЖУКОВ,
ассистент И. ЛЕОНОВИЧ

К ВОПРОСУ ВЫБОРА РУКОВОДЯЩЕГО УКЛОНА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛЕСОТРАНСПОРТА

При освоении лесных массивов большое значение имеет выбор типа транспорта и схемы транспортного освоения. Правильное решение этих вопросов определяет технико-экономические показатели работы транспорта и всего лесозаготовительного предприятия в целом.

При выборе типа транспорта и схемы транспортного освоения, как известно, руководствуются грузооборотом, расстоянием вывозки, размещением лесных запасов, рельефом местности и почвенно-грунтовыми условиями.

Решив вопрос о типе транспорта, чрезвычайно важно правильно решить вопрос о выборе руководящего уклона для данного типа транспорта (дороги).

Под руководящим уклоном понимается наибольший затяжной подъем в грузовом направлении на прямом участке пути, по которому движется поезд с постоянной скоростью при одиночной тяге.

По существу руководящий уклон является основной и главной характеристикой дороги в продольном профиле. Этим уклоном руководствуются как при проектировании дороги, так и во всех основных строительных и тягово-эксплуатационных расчетах. От величины руководящего уклона зависят многие строительные и тягово-эксплуатационные показатели. Так, вес поезда и связанная с ним рейсовая нагрузка, а также скорость движения находятся в обратной зависимости от руководящего уклона. Чем меньше принятый руководящий

уклон на лесовозной дороге, тем больше будет рейсовая нагрузка, скорость движения и производительность подвижного состава, а следовательно, эксплуатационные затраты, отнесенные к единице перевозимого груза, будут ниже. В то же время уменьшение руководящего уклона приводит к увеличению объема земляных работ и связанному с ним удорожанию стоимости строительства лесовозной дороги.

Наоборот, при увеличении руководящего уклона уменьшается рейсовая нагрузка на поезд, снижается скорость движения и уменьшается производительность подвижного состава. Эксплуатационные затраты, падающие на единицу перевозимого груза, при этом увеличиваются. Стоимость же строительства дороги уменьшается благодаря меньшему объему земляных работ, обусловленному увеличением руководящего уклона.

Как видно, строительные и эксплуатационные расходы лесовозной дороги связаны между собой и зависят от величины руководящего уклона. Следовательно, его нужно выбирать с таким расчетом, чтобы стоимость перевозки единицы груза была наименьшей.

При проектировании лесовозных дорог пользуются соответствующими техническими условиями, согласно которым руководящий уклон рекомендуется выбирать для различных классов дорог в зависимости от рельефа местности. Однако указанными техническими условиями величины руководящего уклона рекомендуются в широких пределах. Поэтому при проектировании лесовозных дорог выбор руководящего уклона в указанных пределах не является достаточно обоснованным. Естественно, возникает необходимость выбор его оправдывать соответствующими технико-экономическими расчетами.

Тем не менее до настоящего времени нет разработанного метода расчета наивыгоднейшего руководящего уклона. Поэтому обоснование принимаемого уклона производится путем технико-экономического сравнения отдельных вариантов. Этот метод, с одной стороны, является громоздким и трудоемким, а с другой, не дает исчерпывающего решения вопроса.

Правильное решение вопроса о выборе наивыгоднейшего руководящего уклона нужно искать в решении уравнения стоимости вида

$$C = C_{стр} + C_{экс}, \quad (1)$$

где $C_{стр}$ — стоимость вывозки 1 м³ древесины от расходов на строительство дороги;

$C_{экс}$ — стоимость вывозки 1 м³ древесины от эксплуатационных расходов.

$$C_{стр} = \frac{R_{э.с.}L}{Q_{общ}} + \frac{R_{ис}}{Q_{общ}} + \frac{R_{р.с.}L}{Q_{общ}} + \frac{r\Sigma v}{Q_{общ}}, \quad (2)$$

где $R_{э.с.}$ — стоимость 1 км верхнего строения пути в рублях;

$R_{ис}$ — стоимость искусственных сооружений в рублях;

$R_{р.с.}$ — стоимость ремонта и содержания 1 км дороги;

L — строительная длина дороги в км;

Σv — объем земляных работ в м³;

r — стоимость производства 1 м³ земляных работ в рублях;

$Q_{общ}$ — ликвидный запас лесосырьевой базы, тяготеющий к проектируемой дороге, в м³.

В уравнении (2) первые три члена правой части являются постоянными и не зависят от величины руководящего уклона, четвертый член $\frac{r\Sigma v}{Q_{общ}}$, в который входит объем земляных работ, зависит от величины руководящего уклона лесовозной дороги. При разных величинах его объем земляных работ будет различный, следовательно, будет различна и строительная стоимость, падающая на единицу перевозимого груза. Объем земляных работ можно выразить:

$$\Sigma v = \Sigma \omega l, \quad (3)$$

где ω — площадь поперечного сечения насыпи или выемки в м²;

l — длина участка, на котором проектируются земляные работы, в м;

$$\left. \begin{aligned} \omega_n &= a' + \frac{2}{3}BH + \frac{1}{2}mH^2 \\ \omega_s &= a'_1 + \frac{2}{3}dH + \frac{1}{2}mH^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где a' — площадь поперечного сечения водосливной призмы в м²;

- a'_1 — разность площадей сечения кюветов и водосливной призмы в м^2 ;
 B — ширина земляного полотна в м;
 d — ширина выемки на уровне бровок полотна дороги в м;
 H — максимальная рабочая отметка в м;
 m — коэффициент откоса.

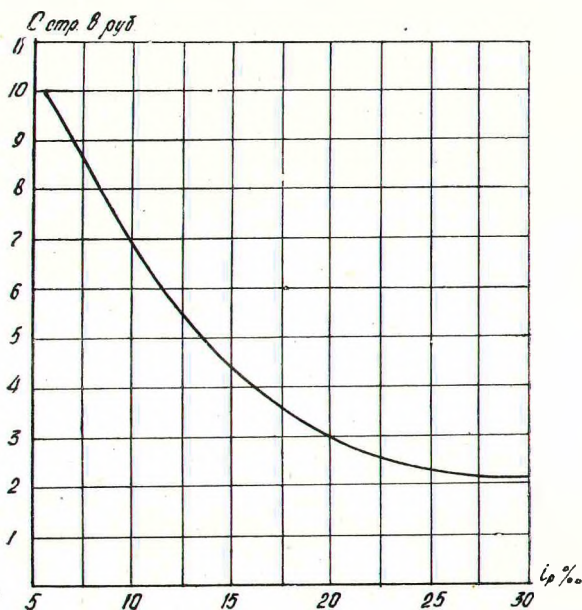


Рис. 1.

После подстановки получим

$$\frac{r\Sigma v}{Q_{общ}} = \frac{r\Sigma(a'_1 + \frac{2}{3}BH + \frac{1}{2}mH^2)l}{Q_{общ}} \quad (5)$$

Используя выражения (2) и (5) и подсчитав объем земляных работ по данным рабочих отметок продольного профиля при различных значениях руководящего уклона, можно построить график зависимости $C_{стр} = f(i_p)$. Поскольку уравнение (5) содержит величины

во второй степени, то графическое выражение зависимости $C_{сmp} = f(i_p)$ из уравнения (2) будет представлено в виде кривой, показанной на графике рисунка 1.

Вторая часть уравнения стоимости $C_{экс}$ представляет собой эксплуатационную стоимость вывозки 1 м³ древесины. Она выражается уравнением

$$C_{экс} = a + bl, \quad (6)$$

где a —стоимость простоев, отнесенных к 1 м³ древесины;

b —стоимость 1 м³км;

l —расстояние вывозки в км.

$$a = \frac{D(t_1 + t_2)}{T \cdot Q_{нт}}, \quad (7)$$

где D —стоимость поездо-смены в рублях;

$t_1 + t_2$ —время стоянок на конечных пунктах;

T —продолжительность рабочей смены;

$Q_{нт}$ —рейсовая нагрузка в м³.

$$b = \frac{2D}{T Q_{нт} v_{ср.тех}}, \quad (8)$$

где $v_{ср.тех}$ —среднетехническая скорость движения в км/час.

В уравнениях (7) и (8) делаем замену

$$Q_{нт} = \frac{Q_{общ}}{N_{м.с} \cdot n}, \quad (9)$$

так как

$$Q_{нт} = \frac{Q_{общ}}{N_n}; \quad N_{м.с.} = \frac{N_n}{n}.$$

Здесь N_n —число пар поездов за весь срок эксплуатации дороги;

n —число рейсов в смену;

$N_{м.с.}$ —число машино-смен, которое необходимо затратить для вывозки древесины в объеме $Q_{общ}$.

Производя замену, получим:

$$a = \frac{D(t_1 + t_2) N_{м.с.} n}{T \cdot Q_{общ}}; \quad (10)$$

$$b = \frac{2DN_{м.с.}n}{TQ_{общ} \cdot V_{ср.мех}} \quad (11)$$

Уравнение (6) при этом примет вид:

$$C_{экс} = \frac{DN_{м.с.}n(t_1 + t_2)}{TQ_{общ}} + \frac{2DN_{м.с.}nl}{TQ_{общ}V_{ср.мех}}; \quad (12)$$

$$C_{экс} = \frac{DN_{м.с.}n}{TQ_{общ}} \left(t_1 + t_2 + \frac{2l}{V_{ср.мех}} \right). \quad (13)$$

Выражение в скобках представляет не что иное, как время рейса.

Тогда $\left(t_1 + t_2 + \frac{2l}{V_{ср.мех}} \right) n = T$, а уравнение (13) примет вид:

$$C_{экс} = \frac{DN_{м.с.}}{Q_{общ}} \quad (14)$$

Стоимость вывозки 1 м³ древесины (уравнение 14) зависит от стоимости поездосмены (D), общего ликвидного запаса лесосырьевой базы, тяготеющей к проектируемой лесовозной дороге, и количества машино-смен за весь срок эксплуатации дороги.

Количество машино-смен, которое необходимо затратить на перевозку древесины из осваиваемого лесного массива, в свою очередь зависит от производительности подвижного состава. Производительность же зависит от оборачиваемости подвижного состава и рейсовой нагрузки, которые определяются величиной принимаемого руководящего уклона проектируемой лесовозной дороги.

Взаимозависимость указанных величин можно изобразить с помощью графиков и решить при помощи их уравнение стоимости (14).

Рейсовая нагрузка в зависимости от уклона, как известно, выражается формулой

$$Q_{нт} = \frac{[F - P(\omega'_0 + i_p)] q_{нт}}{(\omega''_0 + i_p) q_{бр} \gamma}, \quad (15)$$

где F — расчетная сила тяги в кг;

P — вес тяговой машины в т;

ω'_0 — удельное сопротивление движению тяговой машины в кг/т;

- ω_0^* — удельное сопротивление движению прицепного состава в кг/т;
 i_p — уклон в ‰;
 $Q_{нт}$ — полезная нагрузка на единицу прицепного состава в т;
 $q_{бр}$ — вес единицы прицепного состава брутто в т;
 γ — удельный вес древесины.

Задаваясь различными значениями уклонов (i_p), определяем рейсовую нагрузку ($Q_{нт}$) и строим график $Q_{нт} = f(i_p)$ (рис. 2). На графике показаны кривые для разных типов тяговых машин, что дает возможность сравнивать их между собой. Приведенный график дает возможность определять полезную нагрузку по известному руководящему уклону.

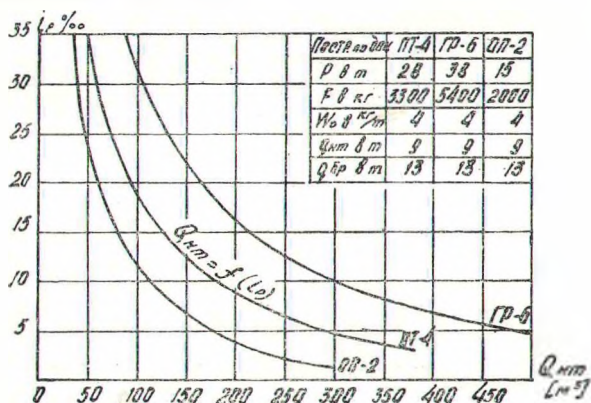


Рис. 2.

Величина руководящего уклона зависит от общего запаса лесосырьевой базы: чем больше запас, тем больше будет число линейных пар поездов, необходимых для перевозки древесины. При определенном запасе сырьевой базы число линейных пар поездов находится в зависимости от нагрузки на поезд, которая является функцией от уклона.

Потребное число линейных пар поездов

$$N_n = \frac{Q_{общ}}{Q_{нт}} \quad (16)$$

Зависимость числа пар поездов от полезной нагрузки, общего запаса сырьевой базы и уклона показана на графике рисунка 3.

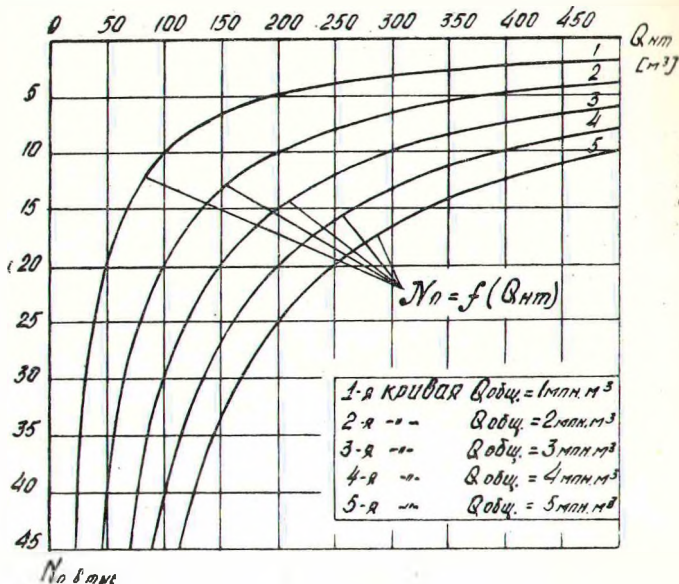


Рис. 3.

Количество машино-смен, которое необходимо отработать при освоении сырьевой базы, находится в зависимости от потребного количества пар поездов (см. график рис. 3) и числа рейсов в смену. Число рейсов в смену определяется по формуле

$$n = \frac{T - \Delta t}{t_1 + t_2 + 2 \frac{l}{v_{ср.мех}}}, \quad (17)$$

где T — продолжительность рабочей смены в часах;
 Δt — подготовительно-заключительное время в часах;
 $t_1 + t_2$ — простои на конечных пунктах в часах;
 l — средневзвешенное расстояние вывозки в км;
 $v_{ср.мех.}$ — среднетехническая скорость движения в км/час.

Количество машино-смен определяется делением числа пар поездов на число рейсов в смену:

$$N_{м.с.} = \frac{N_{п.}}{n} \quad (18)$$

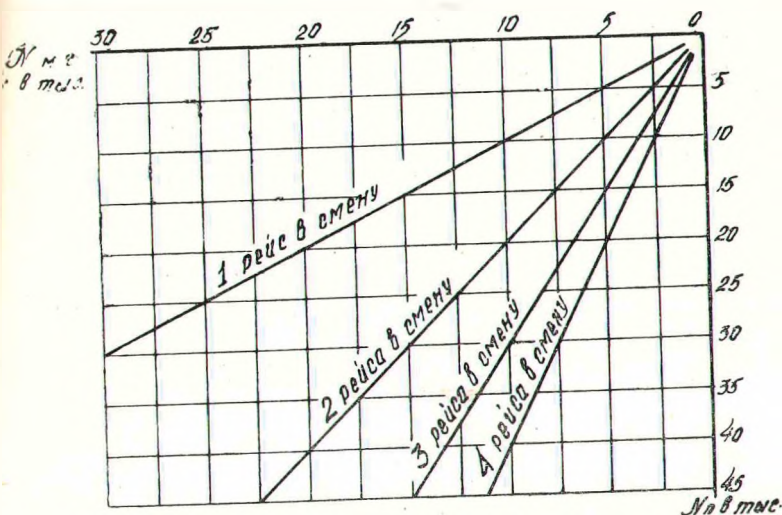


Рис. 4.

Указанная зависимость для различного числа рейсов в смену представлена на графике рис. 4.

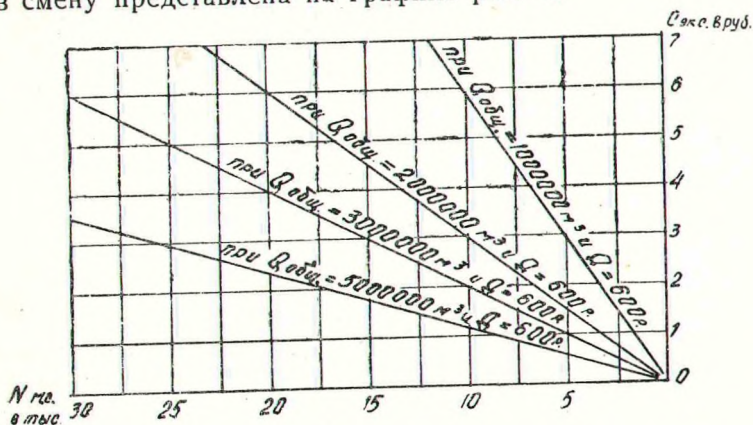


Рис. 5.

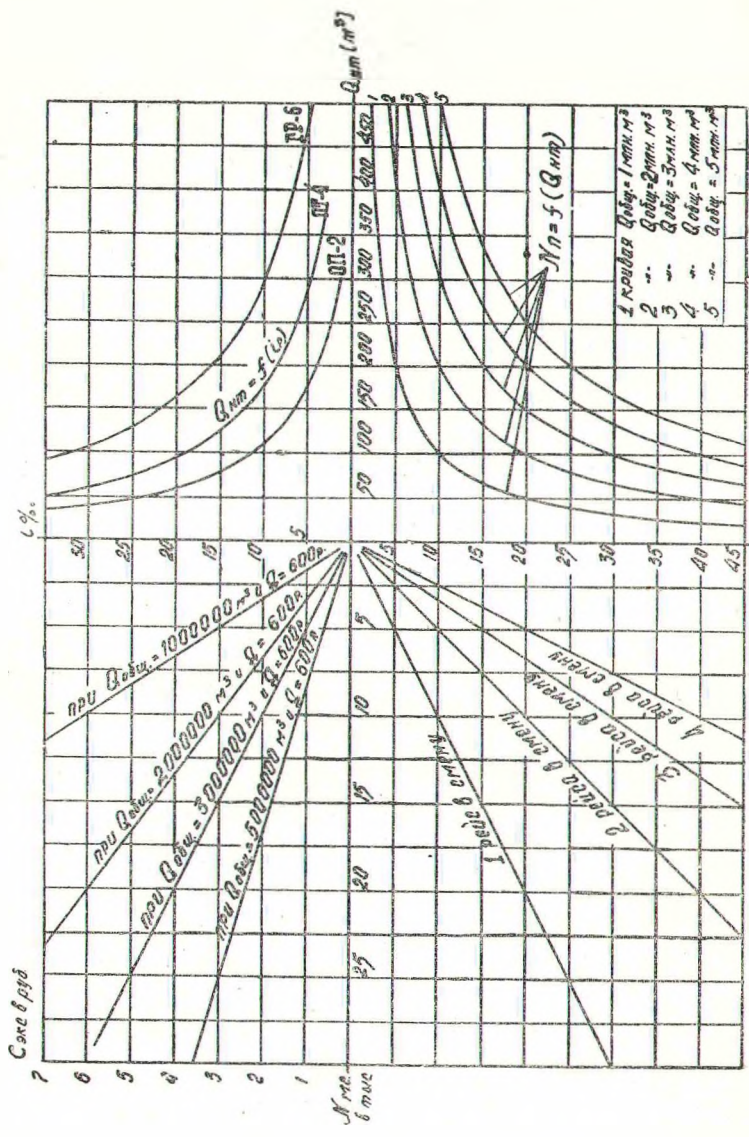


Рис. 6.

Пользуясь данными графика и формулой (14)

$$C_{\text{экс}} = \frac{DN_{\text{м.с.}}}{Q_{\text{общ}}},$$

строим график зависимости эксплуатационной стоимости от потребного количества машино-смен, стоимости поезда-смены и общего запаса лесосырьевой базы (рис. 5).

Приведенные графики рисунков 2, 3, 4 и 5 объединяем в общий график рисунка 6.

С_{экс} в руб

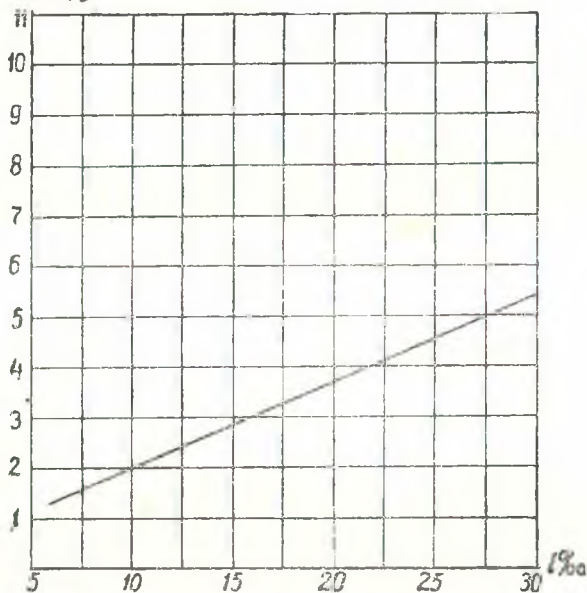


Рис. 7. График зависимости $C_{\text{экс}}$ от i_p для паровоза Гр-6 при $Q_{\text{общ}}=2$ млн. м³ и $n=1$ рейс в смену.

Объединенный график дает возможность определять эксплуатационную стоимость 1 м³ древесины в зависимости от величины руководящего уклона, общего запаса лесосырьевой базы и расстояния вывозки при известных тяговых средствах. При помощи этого графика определяем изменения $C_{\text{экс}}=f(i_p)$ следующим образом. Задавшись величинами руководящих уклонов, проектируем их на кривую $Q_{\text{ит}}=f(i_p)$; из точек пересечения проекций уклонов с кривой проводим вертикальные линии

до пересечения с кривой $N_n = f(Q_{нт})$. Затем через эти точки проводим горизонтально линии до встречи с линией, соответствующей определенному числу рейсов в смену. Полученные точки проектируются на линию $C_{экс} = f(N_{м.с.})$. Ординаты этих точек выражают эксплуатационную стоимость перевозки 1 м^3 древесины. Найденные ординаты дают возможность построить график зависимости эксплуатационной стоимости перевозки 1 м^3 древесины от уклона (рис. 7.).

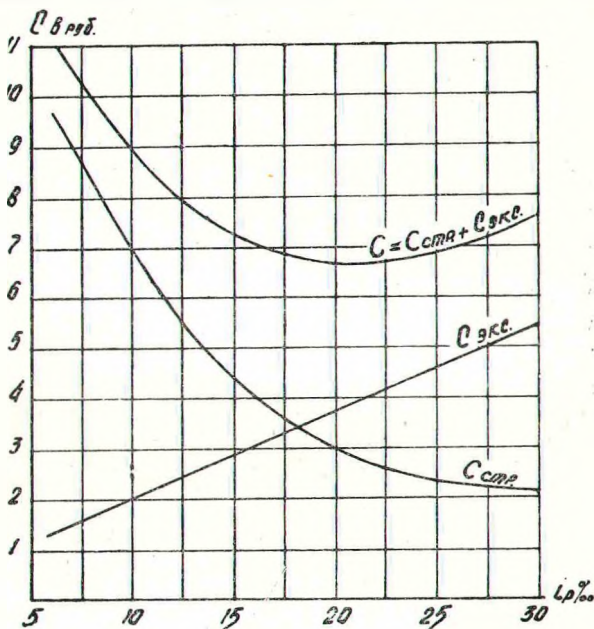


Рис. 8.

Руководствуясь графиками рисунков 1 и 7, можно графически решить уравнение стоимости (1). С этой целью совмещены указанные графики и построена кривая суммарной стоимости $C = C_{стр} + C_{экс}$ (рис. 8).

Из графика видно, что суммарная стоимость в зависимости от уклона изменяется по кривой. Ордината, соответствующая минимальному значению функции $C = f(i_p)$, и есть наименьшая стоимость перевозки 1 м^3 древесины в данных условиях, а соответствующая ей абсцисса — искомый невыгоднейший руководящий уклон.