

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 625.711.84.001.2

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ
НА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Б. А. ИЛЬИН

Ленинградская лесотехническая академия

Как известно, одним из важнейших проектных параметров является расчетная скорость движения. На дорогах общей сети I—III категорий в качестве расчетной принята предельная безопасная скорость движения легкового, а на дорогах IV и V категорий — грузового автомобиля. На лесовозных дорогах, где основным транспортным средством является лесовозный автопоезд, при незначительном участии в движении легковых и одиночных грузовых автомобилей, целесообразно в качестве расчетной принимать максимальную безопасную скорость движения автопоезда при обеспеченной видимости и сухом покрытии, находящемся в отличном эксплуатационном состоянии.

С учетом такого подхода были определены расчетные скорости при подготовке Инструкции по проектированию лесозаготовительных предприятий в 1975—1980 гг. [3]. С 1986 г. лесовозные автомобильные дороги проектируют по СНиП 2.05.07—85 Промышленный транспорт (табл. 1), в котором, однако, расчетные скорости остались неизменными, несмотря на значительное удорожание горючего, некоторых материалов, машин и др., имевшее место в последние годы.

Таблица 1

Показатели	Расчетные скорости (основные нормы), км/ч				
	70	60	50	40	30
Категория дорог	I-л	II-л	III-л	IV-л	Ветки
Годовой объем вывозки, тыс. м ³	> 1000	500... 1000	150... 500	< 150	—
Допустимая высота неровности при отличном состоянии пути, мм — см. формулу (8)	5,5	6,8	8,5	11,3	16,0

Примечание. Для трудных условий скорости снижаются на 10 км/ч на дорогах всех категорий.

При определении оптимальной расчетной скорости может быть использован известный прием поиска экстремальных значений функции с использованием минимума приведенных затрат $R_{пр}$ в качестве критерия оптимальности:

$$R_{пр} = E_n K + C_{выв}$$

Здесь K — затраты на постройку дороги, гаражей и приобретение подвижного состава, р.;

$C_{выв}$ — эксплуатационные расходы на вывозку, р./м³;

$$K = K_{зп} + K_{до} + K_{пс},$$

где $K_{зп}$, $K_{до}$, $K_{пс}$ — затраты на постройку земляного полотна (включая малые водопропускные сооружения), дорожной одежды и приобретение подвижного состава с постройкой гаражей, р.

При учете влияния расчетной скорости на ширину земляного полотна и проезжей части удобно использовать зависимость [2]

$$B = 2c + s + d + 2\sqrt{0,1 + 0,0075v_p} + 0,3 + 0,014\sqrt{v_p}$$

или с некоторым упрощением (ошибка не более 2...3 %):
для двухполосной дороги

$$B_{дв} = 2c + s + d + (1,55 + 0,022v_p) k_{ум}; \quad (1)$$

для однополосной дороги

$$B_{од} = 2c + s + 0,78 + 0,011v_p, \quad (1a)$$

где B — ширина земляного полотна (в том числе с индексами), м;
 c — ширина обочины, м;
 d — габаритная ширина автомобиля, м;
 s — ширина колеи, м;
 v_p — расчетная скорость, км/ч;
 $k_{ум}$ — коэффициент, учитывающий незначительное участие легковых автомобилей в движении (0,85...0,9).

$$K_{зп} = 1000c_{зп}k_{кр}\omega L = 1000c_{зп}k_{кр}(BH_{ср} + mH_{ср}^2)L,$$

где $c_{зп}$ — стоимость постройки земляного полотна, р./м³;
 $k_{кр}$ — коэффициент, учитывающий увеличение строительных затрат на кривых участках;
 ω — площадь поперечного сечения насыпи (сливную призму в данном случае можно не учитывать), м²;
 L — длина дороги, км;
 m — средний коэффициент заложения откосов полотна;
 $H_{ср}$ — средняя рабочая отметка, м.

Величина $c_{зп}$ зависит от рода грунта, технологии разработки и перемещения, стоимости машино-смены и др., а также от уровня концентрации объемов земляных работ, уменьшаясь с увеличением ширины земляного полотна, которая, в свою очередь, зависит от расчетной скорости.

Анализ материалов Гипролестранса, в частности [4], показал, что:

$$c_{зп} = \gamma - \delta v_p, \quad (2)$$

где γ — предельное значение измерителя, р./м³;
 δ — коэффициент, характеризующий снижение затрат в зависимости от v_p .

Пользуясь данными ОНТП 2-85 Гипролестранса, можно получить, что для 1-го территориального района в ценах 1985 г. при основной норме $\gamma = 2,12$ р./м³ (двухполосные дороги) и $\gamma = 2,24$ (однополосные), а $\delta = 0,01$ р. · ч/(м³ · км). Таким образом.

$$K_{зп} = 1000(\gamma - \delta v_p) k_{кр} L \{ [2c + s + d + k_{ум}(1,55 + 0,022v_p)] H_{ср} + mH_{ср}^2 \}$$

или

$$K_{зп} = (A - Bv_p - Cv_p^2) L, \quad (3)$$

где (двухполосная дорога)

$$A = 1000k_{кр}\gamma [(2c + s + d + 1,55k_{ум})H_{ср} + mH_{ср}^2]; \quad (4)$$

$$B = 1000k_{кр}\delta [(2c + s + d + 1,55k_{ум})H_{ср} + mH_{ср}^2] - \\ - 22k_{кр}k_{ум}H_{ср}\gamma; \quad (5)$$

$$C = 22k_{кр}k_{ум}H_{ср}\delta. \quad (6)$$

Принимаемая в проекте расчетная скорость должна соответствовать выбранному типу дорожной одежды. Согласно исследованиям А. К. Бирули [5], предельно допускаемая скорость движения при отличном состоянии пути (ее можно принять за расчетную) определяется выражением:

$$v_p = v_{доп} = 850/\sqrt{s_c}, \quad (7)$$

где s_c — показатель толчкомера ХАДИ, см/км.

Приводя показатель s_c к более широко используемому на лесовозных дорогах показателю ровности (просвету под 3-метровой рейкой) h , с помощью формулы Е. Г. Попова [4] получим:

$$h = \left(\frac{101760}{v_p^2} - 2,8 \right)^{0,59}. \quad (8)$$

Результаты расчета h по формуле (8) приведены в табл. 1.

В практике приемки построенных дорог в эксплуатацию [1] отличную оценку получают участки, имеющие предельный просвет под рейкой: 3 мм — для асфальтобетонного покрытия, 5 мм — для черногравийного, 7 мм — из укрепленных грунтов, 10 мм — для необработанных гравийных (щебеночных) покрытий. Сопоставляя эти данные с допустимой величиной неровности (табл. 1), можно прийти к выводу, что на лесовозных дорогах I-л и II-л категорий вполне достаточно при принятых в нормах СНиП значениях v_p использовать чернощебеночные (гравийные) покрытия, на дорогах III-л категории — гравийные, обработанные цементом, или колеиные покрытия из железобетонных плит, на дорогах IV-л категории и ветках — гравийные.

Анализ укрупненных показателей стоимости постройки дорожных одежд, перечисленных выше и приведенных в [4], показал, что при обосновании оптимальной расчетной скорости может быть принята зависимость:

$$c_{до} = qv_p - p, \quad (9)$$

где $c_{до}$ — стоимость постройки дорожной одежды, р./м²;

p, q — коэффициенты, зависящие от расчетной осевой нагрузки автопоезда, цен на строительные материалы, тарифных ставок, природных условий, технологии и др. Для нагрузки (до 100 кН $p = 2 \dots 2,5$ р./м² и $q = 0,17 \dots 0,19$ р. × ч/(м² · км).

С учетом этого и имея в виду, что $B_0 = B - 2c$, получим:

$$K_{до} = 1000c_{до}k_{кр}B_0L = 1000k_{кр}(qv_p - p)L[s + d + \\ + (1,55 + 0,022v_p)k_{ум}] = (qv_p - p)(g + hv_p)L, \quad (10)$$

где

$$g = 1000k_{кр}(s + d + 1,55k_{ум}); \quad (11)$$

$$h = 22k_{кр}k_{ум}. \quad (12)$$

Для однополосных дорог значения $K_{зп}$ и $K_{до}$ определяют с учетом формулы (1а). От величины v_p зависят и такие параметры, как расчетное расстояние видимости, радиусы вертикальных кривых и др. Однако, как показал анализ, влияние v_p не сказывается сколько-нибудь значительно на величине приведенных затрат.

Расходы на приобретение лесовозного подвижного состава и постройку гаражного хозяйства с учетом [2]

$$K_{пс} = \left(\Gamma + \frac{DL}{v_p} \right) Q_{год}. \quad (13)$$

Здесь $Q_{год}$ — годовой объем вывозки, м³;

$$\Gamma = \frac{\alpha_{нер} K'_{пс} k_{зап} \Sigma t_{пр}}{(T - t_{пз}) T_{год} m_c k_B Q_{пол}}; \quad (14)$$

$$D = \frac{2\alpha_{нер} \alpha_{пр} K'_{пс} k_{зап}}{(T - t_{пз}) T_{год} m_c k_B Q_{пол} \epsilon}, \quad (15)$$

где $\alpha_{нер}$ — коэффициент учета неравномерности вывозки;
 $\alpha_{пр}$ — коэффициент пробега грузов;
 $K'_{пс}$ — стоимость приобретения одного автопоезда с учетом затрат на постройку гаражей, р.;
 $k_{зап}$ — коэффициент перехода к списочному составу автопарка;
 T — продолжительность рабочей смены, ч;
 $t_{пз}$ — подготовительно-заключительное время, ч;
 $T_{год}$ — число рабочих дней в году;
 m_c — число смен в рабочем дне;
 k_B — коэффициент использования рабочего времени;
 $Q_{пол}$ — полезная нагрузка на автопоезд, м³;
 ϵ — отношение среднетехнической скорости к расчетной.

Выполненные с использованием [4] расчеты показали, что ϵ зависит от удельной мощности двигателя автомобиля, отнесенной к массе поезда, руководящего подъема и может быть определено по формуле:

$$\epsilon = a - 0,003i_p, \quad (16)$$

где a — коэффициент, зависящий от мощности двигателя и типа автомобиля (для КраЗ-260, МАЗ-5434 и др. — 0,82... 0,89);
 i_p — руководящий подъем, %.

Эксплуатационные расходы на вывозку и амортизационные отчисления по дорогам (расходы на текущее содержание и ремонт мало зависят от расчетной скорости)

$$C_{вмв} = \frac{Q_{год} M_{см}}{П} + 0,01 n_{ам} (K_{зп} + K_{до}) = \left(E + \frac{JKL}{v_p} \right) Q_{год} + 0,01 n_{ам} (K_{зп} + K_{до}), \quad (17)$$

где $П$ — производительность автомобиля, м³/см.;
 $M_{см}$ — стоимость машино-смены автопоезда с зарплатой водителя и начислениями, р.;
 $n_{ам}$ — норматив ежегодных амортизационных отчислений, %.

$$E = \frac{M_{см} \Sigma t_{пр}}{(T - t_{пз}) k_B Q_{пол}}; \quad (18)$$

$$Ж = \frac{2M_{см} \alpha_{пр}}{(T - t_{пз}) k_B Q_{пол} \epsilon}. \quad (19)$$

Таким образом, приведенные затраты

$$R_{\text{пр}} = (E_n + 0,01n_{\text{ам}})[A - Bv_p - Cv_p^2 + (qv_p - p)(g + hv_p)]L + [E_n\Gamma + E + (E_nD + \mathcal{K})L/v_p]Q_{\text{год}} \quad (20)$$

Используя метод определения экстремальных значений функций, упомянутый выше, получим уравнение, из которого можно определить оптимальную расчетную скорость для любого значения:

$$\frac{E_n + 0,01n_{\text{ам}}}{E_nD + \mathcal{K}} [gq - B - ph + 2(hq - c)v_p]v_p^2 = Q_{\text{год}} \quad (21)$$

Из формулы (21) видно, что длина дороги не влияет на значение оптимальной расчетной скорости.

Пример расчета. Исходные данные: дорога двухполосная, расчетный автопоезд МАЗ-5432 + ГКБ-9383, $Q_{\text{пол}} = 25 \text{ м}^3$; $M_{\text{см}} = 45 \text{ р.}$; $d = 2,5 \text{ м.}$; $s = 1,95 \text{ м.}$; $K'_{\text{пс}} = 32 \text{ 000 р.}$; $E_n = 0,12$; $n_{\text{ам}} = 7,3 \%$; $k_{\text{ум}} = 0,85$; $k_{\text{кр}} = 1,1$; $\alpha_{\text{пр}} = 0,7$; $\alpha_{\text{пер}} = 1,2$; $H_{\text{ср}} = 0,9 \text{ м.}$; $T = 250 \text{ дн.}$; $m_{\text{с}} = 2 \text{ см.}$; $T = 8,2 \text{ ч.}$; $t_{\text{пз}} = 0,5 \text{ ч.}$; $\gamma = 2,12 \text{ р.}$; $\delta = 0,01 \text{ р.}$; $\rho = 2,0 \text{ р./м}^2$; $q = 0,17 \text{ р.} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{км})$, $\epsilon = 0,67$.

Вычисляя значения комплексных коэффициентов, входящих в формулу (21), найдем: $B = 57,7$; $C = 0,185$; $g = 6,344$; $h = 20,6$; $D = 1,48$; $\mathcal{K} = 0,54$. В результате по формуле (21) получим зависимость

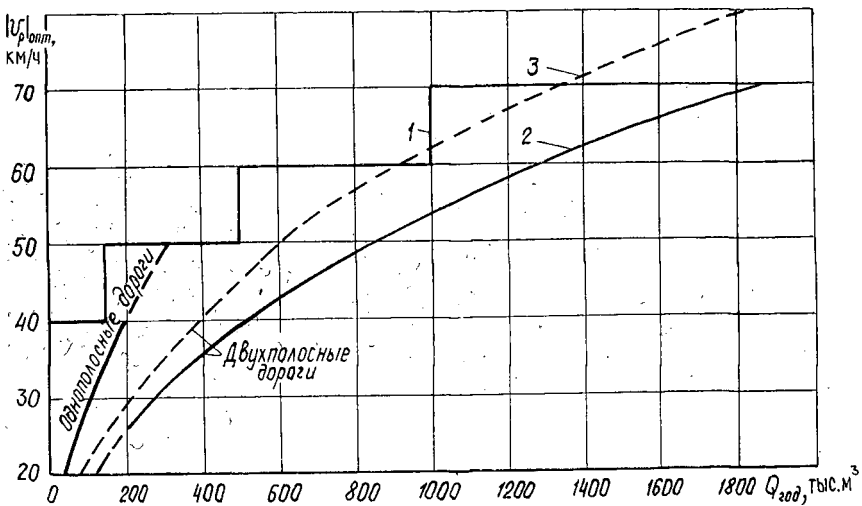
$$(263 + 1,7v_p)v_p^2 = Q_{\text{год}} \quad (22)$$

позволяющую определить значения оптимальной скорости движения для различных годовых грузооборотов дороги (табл. 2).

Таблица 2

$Q_{\text{год}}$, тыс. м^3	119	284	540	877	1 326
v_p , км/ч	20	30	40	50	60

На рисунке приведено сопоставление значений расчетных скоростей, полученных в примере с нормами СНиП 2.05.07—85 (ступенчатая



Сравнение расчетных скоростей: 1 — принятых в нормах СНиП 2.05.07—85 (ломаная линия); 2 — оптимальных, определенных по методике, изложенной в статье (см. пример расчета) для автомобилей группы А; 3 — то же для автомобилей группы Б

линия). Из него видно, что оптимальные значения расчетной скорости (основные нормы) значительно ниже (для автомобилей группы А), чем принятые в нормах. Для годовых объемов вывозки до 670 тыс. м³ эта разница достигает 20 км/ч и лишь при более значительных объемах — 10 км/ч.

Задавшись другими значениями исходных данных расчета, можно получить несколько иное положение кривой $|v_p|_{\text{опт}} = f(Q_{\text{год}})$ на графике. Например, если взять в качестве расчетного автомобиль группы Б (с осевой нагрузкой 60 кН), принять для него $M_{\text{см}} = 30$ р., $K'_{\text{пс}} = 25\,000$ р., $Q_{\text{пол}} = 15$ м³ и уменьшить значения p и q на 25 %, то зависимость $|v_p|_{\text{опт}}$ будет характеризоваться кривой 3 (см. рисунок). В этом случае, при $Q_{\text{год}} > 750$ тыс. м³, расчетные скорости движения по нормам СНиП 2.05.07—85 и полученные по предложенной методике выравниваются.

По формуле (20) может быть определен годовой экономический эффект при использовании оптимальных расчетных скоростей. Например, используя исходные данные из приведенного примера и приняв $\Sigma t_{\text{пр}} = 0,8$ ч, можно получить:

$$R_{\text{пр}} = 0,193 [20\,553 - 57,7v_p - 0,185v_p^2 + (0,17v_p - 2) \times \\ \times (6\,344 + 20,6v_p)] + [(0,12 \cdot 1,48 + 0,54)L/v_p + 0,274] Q_{\text{год}}.$$

При $L = 50$ км и $Q_{\text{год}} = 275$ тыс. м³:

1) по нормам СНиП (т. е. при $v_p = 50$ км/ч)

$$R'_{\text{пр}} = 634\,777 + 273\,350 = 908\,127 \text{ р.}$$

2) по предложенной методике (т. е. при $v_p = 30$ км/ч)

$$R''_{\text{пр}} = 391\,255 + 405\,360 = 796\,605 \text{ р.}$$

Годовой экономический эффект составит 111 522 р., или 0,41 р/м³.

Особенностью изложенного метода является возможность использования формулы (21) не только при обосновании новых или пересмотре существующих норм проектирования лесовозных автомобильных дорог, но и при проектировании каждой отдельной конкретной дороги и даже ее отдельного участка с учетом местных условий ее строительства и эксплуатации, в частности рельефа местности (учитывается величинами $H_{\text{сп}}$, ϵ), почвенно-грунтовых условий (учитывается $C_{\text{сп}}$), типа лесовозного автомобиля (учитывается величинами $K'_{\text{пс}}$, $Q_{\text{пол}}$, $M_{\text{см}}$) и др.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Вейцман М. И., Егзов В. П. Краткий справочник строителя автомобильных дорог.— М.: Транспорт, 1979.— 248 с. [2]. Ильин Б. А., Кувалдин Б. И. Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог.— М.: Лесн. пром-сть, 1982.— 384 с. [3]. Инструкция по проектированию лесозаготовительных предприятий, ВСН 01—82.— Л.: Гипролестранс, 1983.— 186 с. [4]. Общесоюзные нормы технологического проектирования лесозаготовительных предприятий, ОНТП 02—85.— Л.: Гипролестранс, 1986.— 191 с. [5]. Сиденко В. М., Михович С. И. Эксплуатация автомобильных дорог.— М.: Транспорт, 1976.— 287 с. [6]. Сильянов В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог.— М.: Транспорт, 1984.— 287 с.

Поступила 10 июня 1988 г.

УДК 630*323

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВАЛОЧНЫХ И ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩИХ МАШИН

А. П. МАТВЕЙКО

Белорусский технологический институт

Машинная валка деревьев с каждым годом получает все более широкое распространение, так как в этом случае труд вальщиков становится более производительным и безопасным. Так, если в 1985 г. объем машинной валки леса составил 51,7 млн м³, или 25 % объема заготовки по Минлеспрому СССР, то в 1990 г. его намечено довести до 121 млн м³.

В настоящее время в отрасли насчитывается 3 тыс. валочных (ВМ), валочно-пакетирующих (ВПМ) и валочно-трелевочных (ВТМ) машин. Однако эта высокопроизводительная техника пока используется недостаточно эффективно. До настоящего времени нет сравнительно простых и эффективных способов оценки влияния природно-производственных и других факторов на производительность ВМ и ВПМ в данных конкретных условиях. Успешно решать эту задачу можно на основе математического моделирования процесса валки — пакетирования деревьев. Для этого необходимо иметь развернутое математическое описание этого процесса.

Производительность валочной или валочно-пакетирующей машины циклического действия (м³) в обобщенном виде выражается формулой

$$P = \frac{(T - t_{п-3}) \varphi_1 V_{хл} m n}{(t_1 + t_{ц} n) m + t_6} \quad (1)$$

- где T — продолжительность смены, с;
 $t_{п-3}$ — время на выполнение подготовительно-заключительных операций, с;
 φ_1 — коэффициент использования рабочего времени;
 $V_{хл}$ — средний объем хлыста, м³;
 n — число деревьев, срезаемых при одном рабочем положении (с одной технологической стоянки) машины;
 t_1 — время на переезд машины с одной технологической стоянки на другую или от дерева к дереву, с;
 $t_{ц}$ — время на захват (подготовку) дерева к спливному, срезание и укладку спиленного дерева на землю или пакетоформирующее устройство (время цикла), с;
 t_6 — время на сброску сформированной пачки с машины на землю и выравнивание комлей, с;
 m — число технологических стоянок (переездов) машины, необходимых для формирования пачки деревьев объемом $V_{п}$:

$$m = \frac{V_{п}}{V_{хл} n} \quad (2)$$

Формула (1) не дает возможности подробно проанализировать сущность процесса валки и пакетирования деревьев машинами; требуется ее детализация.

По данным [2]

$$t_1 = \frac{10\,000 V_{хл}}{Q b v_{дв}} \quad (3)$$