

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630\*375.5

СКОРОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
И ВРЕМЯ ХОДА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ  
ПРИ ДВИЖЕНИИ НА ПОВОРОТАХ

А. В. ЖУКОВ, А. И. КИРИЛЬЧИК

Белорусский технологический институт

Как показали исследования [1, 2], определение скоростей движения и времени хода лесовозных автопоездов на маршрутах находится в непосредственной зависимости от технических характеристик автопоезда, рейсовой нагрузки, продольного профиля дороги и т. д. Однако при движении лесовозных автопоездов на криволинейных участках дорог и поворотах эти характеристики изучены недостаточно.

Рассмотрим движение лесовозного автопоезда на повороте и действия водителя. В начальном положении автопоезд движется по прямолинейному участку с определенной скоростью. Приближаясь к повороту, водитель убирает ногу с педали подачи топлива, и автопоезд продолжает двигаться с замедлением. В некоторых случаях водитель постепенно подтормаживает так, что скорость движения автопоезда уменьшается плавно. Плавность снижения скорости объясняется большой массой, к тому же при резком торможении возможно складывание автопоезда.

Как правило, движение замедляется до момента, когда водитель поворачивает управляемые колеса и автопоезд входит в поворот. В этот момент водитель инстинктивно нажимает на педаль подачи топлива, автопоезд продолжает двигаться по криволинейной траектории с допустимой скоростью движения на повороте  $v_R$  и, переходя на траекторию выхода из поворота, разгоняется до транспортной скорости.

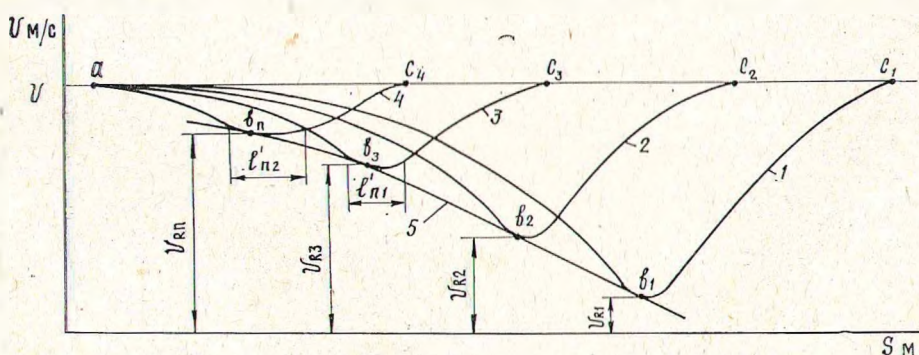


Рис. 1. Общая закономерность изменения скоростей движения лесовозного автопоезда на поворотах.

1-4 — изменение скоростей движения при соотношении радиусов поворотов соответственно:  $R_1 < R_2 < R_3 \dots < R_n$ ; 5 — изменение допустимых скоростей движения.

Предположим, что автопоезд движется по прямолинейному участку со скоростью  $v$  (м/с) и, находясь в точке  $a$  (рис. 1), начинает двигаться

с замедлением, приближаясь к повороту. Участки  $ab_1, ab_2, ab_3, \dots, ab_n$  представляют собой путь  $l_n$ , пройденный в процессе замедления при изменении скорости от  $v$  до  $v_R$ . Скорости  $v_R$  являются ординатами точек  $b$ . Кривая  $b$ , соединяющая точки  $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ , характеризует функциональную зависимость скорости  $v_R$  от радиусов поворотов. Участки  $b_1c_1, b_2c_2, b_3c_3, \dots, b_nc_n$  представляют собой путь  $l_p$ , пройденный автопоездом при разгоне.

При движении на поворотах с малыми радиусами кривизны автопоезд, совершив вход в поворот, сразу переходит на траекторию выхода из него (кривые 1 и 2). При достаточно больших радиусах (кривые 3 и 4) автопоезд, совершив вход в поворот, движется по криволинейному участку со скоростью  $v_R$  (отрезки  $l'_n$ ), переходя в дальнейшем на траекторию выхода.

Если выразить общее расстояние вывозки в виде:  $L = l_n + l_p$ , где  $l_n$  — длина прямолинейных участков пути, а  $l_p$  — длина криволинейных участков, то для определения общего времени движения лесовозного автопоезда можно записать:

$$T = \frac{l_n}{v_i} + \frac{l_p}{v_{in}} = \frac{L}{v_i} - \frac{l_n}{v_i} - \frac{l_p}{v_{in}}, \quad (1)$$

где  $v_i$  — средняя техническая скорость движения по  $i$ -тым участкам пути;

$v_{in}$  — средняя скорость движения на  $i$ -том криволинейном участке.

На основании уравнения (1) потери времени от снижения скорости лесовозного автопоезда при прохождении единичного поворота целесообразно определять по формуле

$$T_i^R = T_p^R - T_{ав}, \quad (2)$$

где  $T_p^R = l_n/v_{in}$  — реальные потери времени при прохождении единичного поворота;

$T_{ав} = l_n/v_i$  — время прохождения единичного поворота без снижения скорости.

Тогда общее время движения лесовозных автопоездов выражается формулой

$$T = \frac{L_m}{v_m} + \frac{L_n}{v_n} + \frac{L_{yc}}{v_{yc}} + \sum_{i=0}^n T_i^R, \quad (3)$$

где  $L_m, L_n, L_{yc}$  — протяженность участков дорог, соответственно, магистралей, веток, усов;

$v_m, v_n, v_{yc}$  — средние технические скорости движения по тем же участкам;

$n$  — число поворотов, которые лесовозный автопоезд проходит со снижением скорости.

Время замедления автопоезда перед поворотом можно найти из выражения:  $t_n = l_n/v_n$ , где  $v_n$  — средняя скорость на участке  $l_n$ , м/с:  $v_n = (v + v_R)/2$ . Аналогично определяется время разгона автопоезда:  $t_p = l_p/v_p$ , где  $v_p$  — средняя скорость на участке  $l_p$ , определяемая идентично скорости  $v_n$ . Время движения по криволинейному участку с допустимой скоростью:  $t_n = l'_n/v_R$ , где  $l'_n$  — длина криволинейного участка, по которому автопоезд движется со скоростью  $v_R$ .

Тогда реальное время при прохождении поворотов автопоездом

$$T_p^R = \frac{2(l_n + l_p)}{v + v_R} + \frac{l'_n}{v_R}. \quad (4)$$



Время прохождения единичного поворота без снижения скорости

$$T_{\text{дв}} = \frac{l_n + l'_n + l_p}{v} \quad (5)$$

Подставим значения (4) и (5) в уравнение (2) и после преобразования получим

$$T_i^R = \left(1 - \frac{v_R}{v}\right) \left(\frac{l_n + l_p}{v + v_R} + \frac{l'_n}{v_R}\right) \quad (6)$$

При малых радиусах поворотов  $l'_n = 0$  и уравнение (6) принимает вид

$$T_i^R = \left(1 - \frac{v_R}{v}\right) \frac{l_n + l_p}{v + v_R} \quad (7)$$

При проведении хронометражных наблюдений процесса движения лесовозного автопоезда на поворотах было установлено, что если общая длина криволинейной траектории поворота  $l_n \geq 2,5 L_6$ , где  $L_6$  — база лесовозного автопоезда, то путь криволинейной траектории, по которой автопоезд движется с постоянной скоростью, определяется выражением:

$$l'_n = R_n \varphi_n - 2,5 L_6, \quad (8)$$

где  $R_n$ ,  $\varphi_n$  — соответственно радиус и угол поворота.

В этом случае потери времени следует определять по формуле (6). Если  $l_n < 2,5 L_6$ , то  $l'_n = 0$ , т. е. в данном положении автопоезд, совершив вход в поворот, сразу переходит на траекторию выхода из него, и расчет следует вести по формуле (7).

В работе [4] приведена зависимость по определению допустимой скорости движения лесовозного автопоезда на поворотах из условия сопротивления боковому сдвигу

$$v_R = \sqrt{Rg(\varphi_2 \pm i)}, \quad (9)$$

где  $R$  — радиус поворота;

$g$  — ускорение свободного падения;

$\varphi_2$  — коэффициент сопротивления боковому сдвигу;

$i$  — поперечный уклон проезжей части дороги.

На основании анализа хронометражных наблюдений движения лесовозного автопоезда на поворотах, проводимых в Борисовском ЛПХ, была получена функциональная зависимость допустимой скорости движения на повороте от радиуса поворота, аппроксимированное выражение которой имеет вид:

$$v_R = K_1 \sqrt{R - R_{\text{min}}}, \quad (10)$$

где  $K_1$  — коэффициент пропорциональности ( $K_1 = 2,31$  при холостом ходе лесовозного автопоезда,  $K_1 = 1,62$  при грузовом ходе);

$R_{\text{min}}$  — минимальный радиус поворота автопоезда.

Зависимости допустимых скоростей движения на повороте, полученные расчетом по формуле (9), и результаты хронометражных наблюдений представлены на рис. 2. Расчетные значения при радиусах поворота  $R > 30$  м занимают промежуточное положение между хронометражными данными при холостом и грузовом ходах лесовозного автопоезда. При радиусах  $R < 30$  м расчетные значения несколько выше замеренных, т. е. реальные допустимые скорости движения лесовозного автопоезда на поворотах с малыми радиусами кривизны ниже предельно допустимых скоростей по условиям сопротивления боковому сдвигу. Данное по-

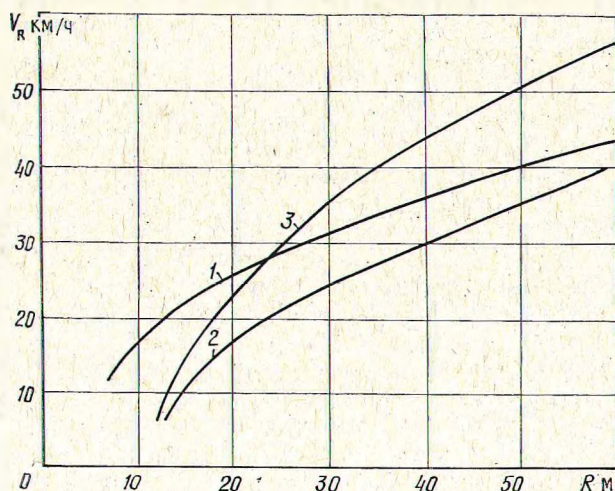


Рис. 2. Зависимости допустимых скоростей движения лесовозных автопоездов на поворотах.

1 — расчетные значения по формуле (9); 2, 3 — результаты хронометражных наблюдений соответственно для нормально загруженного и порожнего лесовозного автопоезда.

ложение можно объяснить, например, недостаточной видимостью на поворотах и психофизиологическими особенностями водителя.

Путь замедления и разгона автопоезда можно определить из выражения, полученного на основании аппроксимации данных хронометражных наблюдений:

$$l_{н.р} = K_2 (v - v_R)^{3/2}, \quad (11)$$

где  $K_2$  — коэффициент пропорциональности ( $K_2 = 3,61$  — для участка пути замедления;  $K_2 = 2,86$  — для участка пути разгона).

Из уравнения (11) видно, что если скорость  $v_R \geq v$ , то лесовозный автопоезд движется на повороте без снижения скорости. Если  $v_R < v$ , то скорость снижается и имеют место потери времени.

На рис. 3 представлены зависимости потерь времени лесовозного автопоезда при прохождении единичных поворотов с различными радиусами кривизны, полученные на основании расчета по аналитическим выражениям (5) и (6) с учетом проведенных исследований. Анализ данных зависимостей показал, что при малых скоростях движения 10—12 км/ч, соответствующих средним техническим скоростям движения по усам (кривая 1), потери времени возникают при радиусах поворотов  $R < 15$  м. При движении, например, по улучшенным грунтовым дорогам со средней технической скоростью

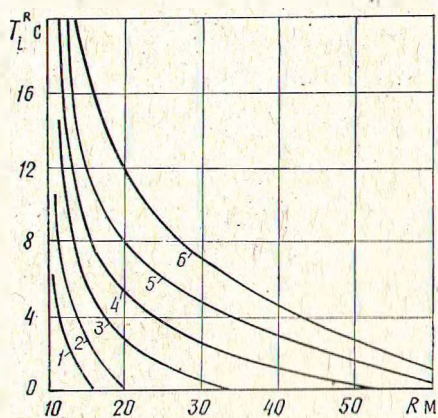


Рис. 3. Зависимости потерь времени лесовозного автопоезда при движении на поворотах с различными радиусами кривизны.

1—6 — зависимости  $T_L^R = f(R)$  при поворотах на  $90^\circ$  при линейных скоростях движения соответственно 10, 20, 30, 40, 50 и 60 км/ч.



38—40 км/ч (кривая 4), при радиусах  $R > 50$  м потери времени практически отсутствуют, а при уменьшении радиусов поворотов потери резко возрастают.

В таблице приведены результаты хронометражных наблюдений и аналитических расчетов потерь времени при движении лесовозного автопоезда на поворотах. Расхождения в общем случае не превышают 10 %.

Показатели	При холостом ходе	При грузовом ходе
Число поворотов, пройденных лесовозным автопоездом со снижением скорости, за одну езду	18	34
Число ездов	6	6
Математическое ожидание суммарных потерь времени на поворотах (хронометражные наблюдения), с	110,0	202,2
Дисперсия суммарных потерь времени, с	53,2	381,1
Результаты аналитического расчета суммарных потерь времени на поворотах, с	102,3	182,3
Расхождение результатов аналитических и экспериментальных данных, %	6,9	9,8

Оценку средней технической скорости движения лесовозного автопоезда с учетом потерь времени на поворотах можно производить с помощью поправочного коэффициента.

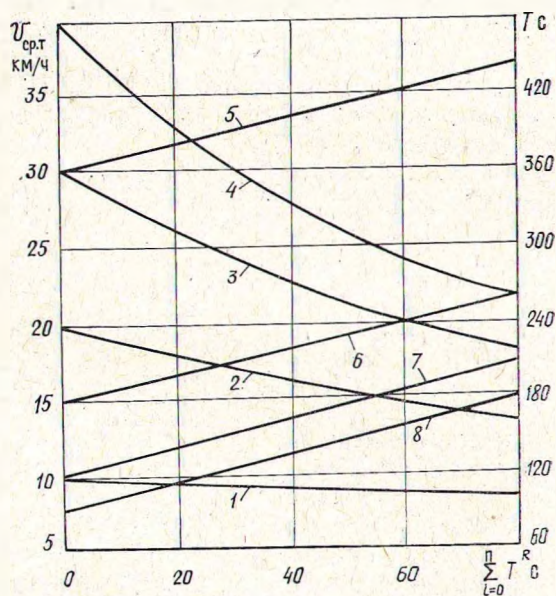


Рис. 4. Зависимости средней технической скорости движения и времени хода лесовозных автопоездов от потерь времени на поворотах.

1, 5 — соответственно  $v_{ср.т}$  и  $T$  при нормированной средней технической скорости движения 10 км/ч; 2, 6 — при 20 км/ч; 3, 7 — при 30 км/ч, 4, 8 — при 40 км/ч.

$$v_{\text{ср. т}} = p v_{\text{ср. т}}^{\text{н}}, \quad (12)$$

где  $p$  — поправочный коэффициент

$$p = \frac{1}{1 + 1,39 \cdot 10^{-4} v_{\text{ср. т}}^{\text{н}} \sum_{i=0}^n T^R}; \quad (13)$$

$v_{\text{ср. т}}^{\text{н}}$  — нормативная средняя техническая скорость движения [3];

$\sum_{i=0}^n T^R$  — суммарные потери времени лесовозного автопоезда при поворотах, приведенных на 1 км пути.

Зависимости средней технической скорости движения и времени хода от потерь времени при движении лесовозного автопоезда на поворотах представлены на рис. 4. Из графика видно, что при малых суммарных потерях времени на поворотах, составляющих 1—3 с на 1 км пути, изменение средней технической скорости и времени хода не превышает 5 % нормированных значений и при практических расчетах может не учитываться. При суммарных потерях времени более 3 с на 1 км пути необходимо пересчитывать нормированные средние технические скорости движения с учетом поправочного коэффициента и времени хода автопоезда по формуле (2).

Таким образом, на основании полученных зависимостей можно производить уточненный расчет средних технических скоростей движения и времени хода лесовозных автопоездов с учетом потерь времени при прохождении криволинейных траекторий поворотов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Ильин Б. А., Корунов М. М., Кувалдин Б. И. Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог.—М.: Лесн. пром-сть, 1971.— 575 с. [2]. Леонович И. И. Автомобильные лесовозные дороги.— Минск: Высш. школа, 1965.— 393 с. [3]. ОНТП 02—80. Общесоюзные нормы технологического проектирования лесозаготовительных предприятий. Ч. 1. Нормы.— Л.: Минлесбумпром СССР, 1982.

Поступила 1 марта 1985 г.

УДК 625.31.001.24

## ВЛИЯНИЕ МЕСТНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ БАЛЛАСТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНО-НАПРЯЖЕННОГО ПУТИ УЖД

С. И. МОРОЗОВ

Архангельский лесотехнический институт

Перемещению рельсошпальной решетки поперек пути противодействует сопротивление балласта сдвигу шпал. Обычно считают, что для всех шпал это сопротивление одинаково. Такое предположение не соответствует реальным условиям. По данным Е. М. Бромберга [1, с. 54—61], из-за неоднородности балласта и степени его уплотнения среднее квадратичное отклонение силы сопротивления сдвигу одиночной шпалы в балласте составляет 20—25 % от ее среднего арифметического. На практике возможны также случаи, когда вследствие уменьшения плотности балласта или размеров балластной призмы сопротивление сдвигу отдельных шпал (или их группы) может составить 50 % и менее от значения его в нормальных условиях. Для шпал с оголенными торцами оно уменьшается на 35—40 %, при засыпке шпальных ящиков на 2/3 их высоты (а не до верхней постели шпал) — на 30—35 %, при переходе от плотного к рыхлому балласту — примерно в 2 раза [2, с. 91—92].