

При движении по трелевочному волоку изменение усилия в тросе происходит менее интенсивно, причем большие значения  $P_{тр}$  соответствуют варианту трактора с заблокированной подвеской переднего моста и элементов демпфирования. Максимальные значения  $P_{тр. max}$  достигают 9,5 кН ( $V = 15$  км/ч).

С целью оценки работоспособности элементов демпфирования трактора целесообразно ввести коэффициент нагруженности технологического оборудования, определяемый как отношение максимального усилия в тяговом канате при заблокированных элементах демпфирования к силе тяги в канате при свободном состоянии демпфирующих элементов, т.е.

$$K_H = \frac{\rho_{трз max}}{\rho_{трс max}}.$$

В рассматриваемом случае значения  $K_H$  составляют: лесная дорога — 1,10–1,17; трелевочный волок — 1,05–1,17.

Таким образом, проведенные испытания трактора Т-150К с лесотехническим оборудованием позволили установить рациональные скорости трелевки, уровень вертикальной нагруженности агрегатов. В случае отсутствия подвески мостов трелевочного трактора, элементы вторичного подрессоривания технологического оборудования могут частично компенсировать упругие элементы в подвеске, что подтверждает правильность предполагаемого направления совершенствования конструкции колесных трелевочных машин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лобода Е.Г., Лыжина Н.В., Чернявский И.Ш. Исследование плавности хода трактора Т-150К с различными вариантами подвески. — Тракторы и сельхозмашины, 1979, № 6.

УДК 630\*37

А.Ф.ТИХОНОВ, канд.техн.наук, профессор,  
К.Т.СТАРОВОЙТОВ, доцент  
(БТИ им. С.М.Кирова)

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ СВОЙСТВ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ

На лесозаготовках БССР транспорт леса осуществляется в основном автомобилями МАЗ по существующим дорогам общего назначения. Так, например, по двум леспромхозам, которые работают на территории 9 лесхозов с площадью лесных земель около 320000 га используется свыше 2000 км транспортных путей, в том числе 80% грунтовых дорог. Средняя густота дорожной сети составляет 4 м/га. При протяженности в общей дорожной сети магистралей 2–7, веток 10–16; усов 80–85, удельный грузооборот составляет соответственно 60–70%, 20–35%, 5–8%.

В связи с разбросанностью лесосек, имеющих небольшие запасы древесины, приходится часто перебазировать тяжелое оборудование (трелевочные тракторы, челюстные погрузчики) с одной лесосеки на другую. Причем лесосеки удалены друг от друга на значительные расстояния.

Перевозка такого оборудования производится на нетормозных трейлерах. В последнее время резко изменились условия работы лесовозных автопоездов. Возросли мощности и скорости движения. Наши исследования показали, что тормозные качества лесовозных автопоездов, оборудованных безтормозными прицепами, не соответствуют условиям безопасности движения. Борисовский РМЗ совместно с кафедрой тяговых машин БТИ им. С.М.Кирова произвели реконструкцию нетормозного прицепа-ропуса и разработали тормозной трейлер для перевозки крупногабаритных грузов. Проведены теоретические исследования и сравнительные дорожные испытания прицепа и трейлера на дорогах с различной несущей способностью.

**Динамика торможения автопоезда МАЗ-509+трейлер (рис. 1).** При торможении на автопоезд действуют следующие силы: реакции дороги на колеса  $N_1, N_2, N_T$ ; масса тягача, груза и трейлера  $Q_a, Q_{гр}, Q_T$ ; силы инерции комплексной массы  $F_a^{ин}, F_{гр}^{ин}, F_T^{ин}$ ; сопротивление воздуха  $R_B$ ; давление трейлера на тягач  $Y_A, X_A$ ; тормозные силы на колесах  $P_{\tau 1}, P_{\tau 2}$ , силы трения сопротивления  $F_1^{тр}, F_2^{тр}, F_3^{тр}$ .

Используя принцип Даламбера, получим уравнения равновесия для трейлера и тягача:

$$\Sigma X = 0; \quad -X_A + F_{гр}^{ин} + F_T^{ин} - F_3^{тр} = 0;$$

$$\Sigma Y = 0; \quad Y_A - Q_{гр} l_3 - Q_T + N_T = 0;$$

$$\Sigma M_K = 0; \quad Y_A \left( l_2 + \frac{l_3}{2} \right) + X_A h_2 - Q_{гр} \left( l_4 - \frac{l_3}{2} \right) - Q_T \left( l_5 - \frac{l_3}{2} \right) - F_{гр}^{ин} h_3 - F_T^{ин} h_4 = 0;$$

$$\Sigma X_1 = 0; \quad -R_B - F_1^{тр} - F_2^{тр} + F_a^{ин} - X_A - P_{\tau 1} - P_{\tau 2} = 0;$$

$$\Sigma Y_1 = 0; \quad -Y_A + N_1 + N_2 - Q_a = 0;$$

$$\Sigma M_M = 0; \quad Q_a c - F_a^{ин} h_1 + Y_a (L - l_1) + X_A h_2 - N_2 (c + b) + R_B h_6 = 0.$$

Совместное решение уравнений произведено без учета равенства сил трения  $F^{тр} = Nf$ .

Замедление

$$a = \frac{R_B + (Q_{гр} + Q_a + Q_T) f + P_{\tau 1} + P_{\tau 2}}{Q_{гр} + Q_a + Q_T} \text{ г.}$$

Реакция дороги на колеса трейлера

$$N_T = Q_{гр} \frac{l_2 - l_4 + l_3}{l_2 + l_3/2 + fh_2} + Q_T \frac{l_2 + l_3 - l_5}{l_2 + l_3/2 + fh_2} - F_{гр}^{ин} \frac{h_3 - h_2}{l_2 + l_3/2 + fh_2} - F_T^{ин} \frac{h_4 - h_2}{l_2 + l_3/2 + fh_2}$$

Реакция дороги на задние колеса тягача

$$N_2 = Q_a \frac{c}{L} - F_a^{ин} \frac{h_1}{L} - F_{гр}^{ин} \left[ \frac{h_3}{L} + \frac{(h_3 - h_2)(l_2 - l_1 + L + l_3/2)}{(l_2 + l_3/2 + fh_2)L} \right] -$$

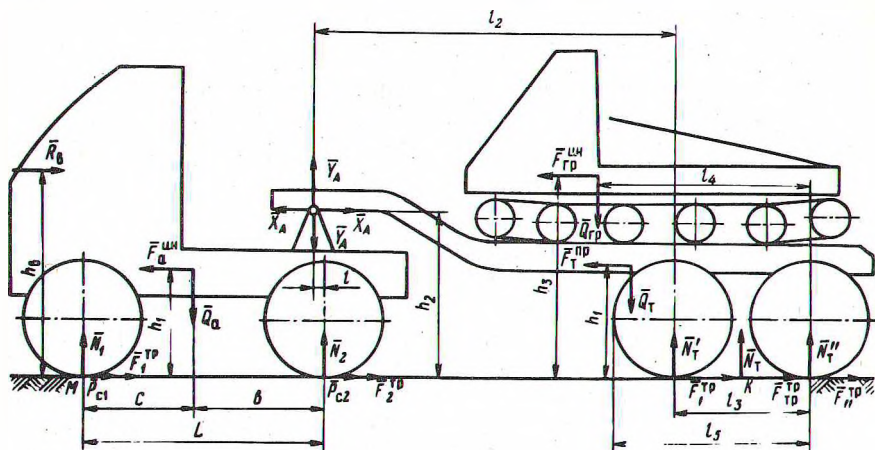


Рис. 1. Расчетная схема автопоезда МАЗ-509+трейлер.

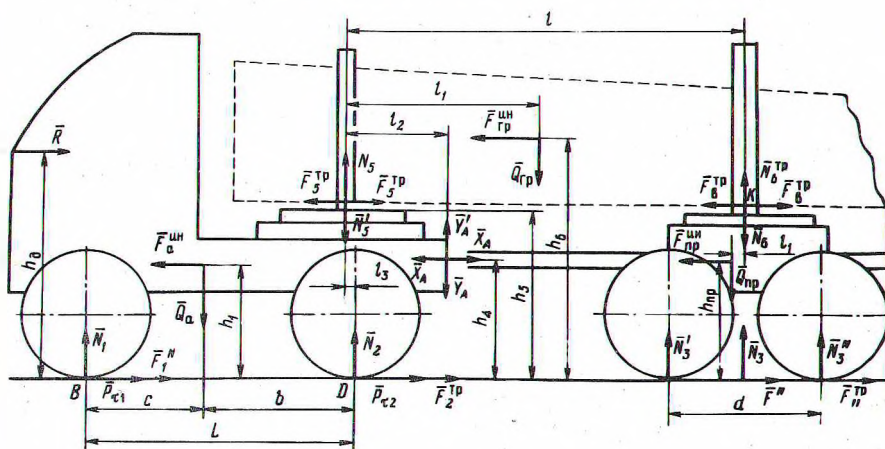


Рис. 2. Расчетная схема лесовозного автопоезда МАЗ-509+2-Р-15.

$$\begin{aligned}
 & - F_{\tau}^{\text{ин}} \left[ \frac{h_4}{L} + \frac{(h_4 h_2) (l_2 - l_1 + L + l_3/2)}{(l_2 + l_3/2 + fh_2) L} \right] + Q_{\tau} \left[ \frac{(l_2 - l_1 + L + l_4 - l_3)}{L} \right. \\
 & - \left. \frac{(l_2 - l_4 + l_3) (l_2 - l_1 + L + l_3/2)}{(l_2 + l_3/2 + fh_2) L} \right] + Q_{\tau} \left[ \frac{l_2 - l_1 + L + l_3 - l_5}{L} \right. \\
 & - \left. \frac{(l_2 + l_3 - l_5) (l_2 - l_1 + L + l_3/2)}{(l_2 + l_3/2 + fh_2) L} \right].
 \end{aligned}$$

Реакции дороги на передние колеса тягача

$$N_1 = Q_a + Q_{\text{гр}} + Q_{\tau} - N_2 - N_{\tau}.$$

Для конкретного случая при значениях величин, входящих в уравнение:  $Q_a = 8800$  кг,  $Q_{\text{гр}}$  (масса трелевочного трактора) = 10500 кг;  $Q_{\tau} = 6150$  кг;  $P_{\tau_1} = 2218$  кг;  $P_{\tau_2} = 3560$  кг;  $h_1 = 0,94$  м;  $h_2 = 1,55$  м;  $h_3 = 1,5$  м;  $h_4 = 1,09$  м;  $L = 3,96$  м;  $c = 1,85$  м;  $b = 2,1$  м;  $l_1 = 0,27$  м;  $l_2 = 4,38$  м;  $l_3 = 1,4$  м;  $l_4 = 2,2$  м;  $l_5 = 1,8$  м.

Расчетные данные по замедлению автопоезда и динамическим нагрузкам на оси для различных дорожных условий приведены в табл. 1.

Динамика торможения автопоезда МАЗ-509+ТМЗ-803 (рис. 2). При торможении на автопоезд действуют следующие силы: масса тягача, пачки хлыстов и прицепа-ропуски  $Q_a, Q_{\text{гр}}, Q_{\text{пр}}$ ; силы инерции тягача, груза и ропуска  $F_a^{\text{ин}}, F_{\text{гр}}^{\text{ин}}, F_{\text{пр}}^{\text{ин}}$ ; нагрузка пачки хлыстов на коники тягача и ропуска  $N_5, N_6$ ; силы трения между хлыстами и кониками; силы взаимодействия между тягачом и ропуском в месте сцепки  $X_A, Y_A$ ; реакции дороги на колеса  $N_1, N_2, N_3$ ; тормозные силы  $P_{\tau_1}, P_{\tau_2}$ ; силы сопротивления движению  $F_1^{\text{тр}}, F_2^{\text{тр}}, F_3^{\text{тр}}$ .

**Уравнения равновесия определим по принципу Даламбера:**

для пакета хлыстов.

$$\Sigma M_K = 0; \quad Q_{\text{гр}}(l - l_1) - N_5 l + F_{\text{гр}}^{\text{ин}} h_6 = 0;$$

$$\Sigma M_M = 0; \quad Q_{\text{гр}} l_1 - F_{\text{гр}}^{\text{ин}} h_6 - N_6 l = 0;$$

для ропуска

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_A = 0; \quad N_3(l - l_2) - N_6(l - l_2) - Q_{\text{пр}}(l - l_2 - l_4) + F_3^{\text{тр}} h_4 + F_6^{\text{тр}}(h_4 - h_5) \\
 + F_{\text{пр}}^{\text{ин}}(h_4 - h_{\text{пр}}) = 0;
 \end{aligned}$$

для автопоезда в целом

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_O = 0; \quad R_B h_6 + N_1 L - F_a^{\text{ин}} h_1 + Q_a b - F_{\text{гр}}^{\text{ин}} h_{\text{гр}} + Q_{\text{гр}}(l_1 - l_3) - N_3(l_1 - l_3) - \\
 - F_{\text{пр}}^{\text{ин}} h_{\text{пр}} + Q_{\text{пр}}(l - l_3 - l_4) = 0;
 \end{aligned}$$

$$\Sigma X = 0; \quad -R_B + F_a^{\text{ин}} + F_{\text{гр}}^{\text{ин}} + F_{\text{пр}}^{\text{ин}} - F_1^{\text{тр}} - F_2^{\text{тр}} - F_3^{\text{тр}} - P_{\tau_1} - P_{\tau_2} = 0;$$



$$\Sigma M_B = 0; -R_B h_6 + F_a^{ин} h_1 - Q_a c + N_2 L + F_{гр}^{ин} h_{гр} - Q_{гр} (l_1 - l_3 + L) + \\ + F_{пр}^{ин} h_{пр} - Q_{пр} (l - l_3 + L) + N_3 (l - l_3 + L) = 0.$$

Решая совместно данные уравнения, определим замедление автопоезда и реакции дороги. Замедление автопоезда

$$a = \frac{R_B + P_{\tau_1} + P_{\tau_2} + (Q_a + Q_{гр} + Q_{пр}) f}{Q_a + Q_{гр} + Q_{пр}} g$$

Т а б л и ц а 1

Характеристики	Дорожные условия			
	асфальти- рованные f = 0,02	гравий- ные f = 0,04	грунтовые f = 0,05	снежные f = 0,07
Для груженого автопоезда				
Замедление автопоезда, м/с	2,43	2,6	2,78	2,92
Давление на оси трейлера, кг	13100	13050	13000	12920
Давление на передние колеса тягача, кг	6460	6585	6735	6830
Давление на задние колеса тягача, кг	5560	5815	5715	5700
Для автопоезда без нагрузки				
Замедление автопоезда, м/с	4,05	4,25	4,4	4,55
Нагрузка на оси трейлера, кг	4920	4910	4900	4880
Нагрузка на передние колеса тягача, кг	6030	6120	6180	6235
Нагрузка на ведущие колеса трейлера, кг	4000	3929	3870	3835

Т а б л и ц а 2

Характеристики		Коэффициент дорожного сопротивления			
		f = 0,02	f = 0,04	f = 0,055	f = 0,07
Замедление автопоезда, м/с	груженые	2,17	2,31	2,48	2,85
	без груза	5,64	5,26	5,38	5,6
Нагрузка на оси роспуска, кг	груженые	14190	13980	13860	2713740
	без груза	2745	2740	2735	2720
Нагрузка на переднюю ось тягача, кг	груженые	6900	6960	6970	7080
	без груза	5476	5495	5523	5600
Нагрузка на заднюю ось тягача, кг	груженые	7910	8060	8160	8250
	без груза	3510	3495	3475	3410

Реакция дороги на задние колеса тягача

$$N_2 = R_B \frac{h_6}{L} - F_a^{\text{ин}} \frac{h_a}{L} + Q_a \frac{c}{L} - F_{\text{гр}}^{\text{ин}} \frac{h_{\text{гр}}}{L} + Q_{\text{гр}} \frac{l_1 - l_3 + L}{L} -$$

$$- F_{\text{пр}}^{\text{ин}} \frac{h_{\text{пр}}}{L} + Q_{\text{пр}} \frac{l_1 - l_3 + L}{L} - \frac{Q_{\text{гр}} l_1 + F_{\text{гр}}^{\text{ин}} h_6}{l(l_1 - l_2 + fh_4)} \left[ \frac{(l_1 - l_2 + f_{\text{кл}} h_5)(l_1 - l_3 + L)}{L} \right] -$$

$$- Q_{\text{пр}} \left[ \frac{l_1 - l_2 - \frac{h_4 - h_{\text{пр}}}{g}}{(l_1 - l_2)L} (l_1 - l_3 + L) \right].$$

Найдем реакции дороги на колеса роспуска

$$N_3 = \frac{Q_{\text{гр}} l_1 - F_{\text{гр}}^{\text{ин}} h_6}{l(l_1 - l_2 + fh_4)} [l_1 - l_2 + f_{\text{кл}} h_5] + Q_{\text{пр}} \frac{(l_1 - l_2 - \frac{h_4 + h_{\text{пр}}}{g}) a}{l_1 - l_2}.$$

Определим реакции дороги на передние колеса тягача

$$N_1 = - R_B \frac{h_6}{L} + F_a^{\text{ин}} \frac{h_a}{L} + Q_a \frac{b}{L} + F_{\text{гр}}^{\text{ин}} \frac{h_{\text{гр}}}{L} - Q_{\text{гр}} \frac{(l_1 - l_3)}{L} +$$

$$+ F_{\text{пр}}^{\text{ин}} \frac{h_{\text{пр}}}{L} - Q_{\text{пр}} \frac{l_1 - l_3}{L} + \frac{Q_{\text{гр}} l_1 - F_{\text{гр}}^{\text{ин}} h_6}{l(l_1 - l_2) l h_4} \frac{h_6}{L} (l_1 - l_2 + f_{\text{кл}} h_5) +$$

$$+ Q_{\text{пр}} (l_1 - l_2 - \frac{h_4 - h_{\text{пр}}}{g}) a (l_1 - l_1) (l_1 - l_2) L.$$

Значение величин, входящих в приведенные выражения:  $Q_a = 8800$  кг;  $Q_{\text{гр}} = 17300$  кг;  $Q_{\text{пр}} = 2930$  кг;  $L = 3,96$  м;  $l = 11,5$  м;  $l_1 = 7,25$  м;  $l_2 = 1,325$  м;  $l_3 = 0,27$  м;  $h_a = 0,9$  м;  $h_B = 1,95$ ;  $h_{\text{гр}} = 1,4$  м;  $h_{\text{пр}} = 2,25$  м;  $h_4 = 1,25$  м;  $h_5 = 0,3$  м;  $h_6 = 0,7$  м;  $b = 2,01$  м;  $c = 1,85$  м;  $f_{\text{кл}} = 0,55$  м.

Динамические характеристики автопоезда МАЗ-509+ТМЗ-803, полученные расчетным путем для груженого автопоезда и без нагрузки, приведены в табл. 2.

Возможность использования максимальных тормозных моментов ограничивается сцеплением шин с дорогой:  $P_{\tau_1} + N_1 f \leq N_1 \varphi$ ;  $P_{\tau_2} + N_2 f \leq N_2 \varphi$ ;  $a \leq g(\varphi + f)$ . При выполнении данных условий тормозной путь для различных дорожных условий и нагрузок автопоезда определяется по формуле Ю.Е. Беленького [5], которая хорошо согласуется с опытными данными:

$$S = V_0 t_0 + \frac{V_0 t_1}{2} + \frac{V_a^2}{2a} - \frac{dt_1^2}{24},$$

где  $t_0 = 0,1$  с — время заполнения тормозной системы воздухом;  $t_1 = 0,5$  с — время срабатывания тормозного привода. Если условие использования тормозных моментов по сцеплению шин с дорогой не соблюдается, торможение будет сопровождаться юзом и время срабатывания тормозов изменится

$$t_1^t = t_1 \frac{(\varphi + f) g}{a_{\max}}$$

Из приведенных данных видно, что для груженых автопоездов данные условия использования тормозных моментов выполняются для асфальтовой,

Т а б л и ц а 3

Ско- рость движе- ния, км/ч	Тормозной путь S (в м) для дорог							
	асфальтированные		гравийные		грунтовые		снежные	
	МАЗ + трейлер	МАЗ + ТМЗ-803	МАЗ+ трейлер	МАЗ+ ТМЗ-803	МАЗ+ трейлер	МАЗ+ ТМЗ-803	МАЗ+ трейлер	МАЗ+ ТМЗ-803
Автопоезд с нагрузкой								
10	2,1	2,2	2,0	2,1	2,1	2,2	3,3	3,5
20	6,9	7,8	7,6	7,2	7,8	7,5	11,0	9,4
30	16,2	17,8	15,2	16,0	17,1	16,7	23,5	23,4
40	26,8	29,0	25,0	28,6	29,0	29,9	39,0	39,7
50	43,8	—	38,0	—	42,0	—	61,0	—
Автопоезд без нагрузки								
10	1,52	1,44	1,7	1,4	1,6	2,7	2,8	2,7
20	5,7	4,9	5,45	4,7	5,5	4,9	10,9	8,9
30	11,4	9,73	10,75	9,2	11,1	9,8	21,0	22,0
40	18,8	15,9	17,6	14,9	18,2	15,8	37,2	37,0
50	28,4	20,0	26,8	22,4	28,1	24,3	58,0	—
60	39,0	—	37,2	—	39,3	—	87,0	—

Т а б л и ц а 4

Скорость движения, км/ч	Тормозной путь авто- поезда с нетормозным		Тормозной путь авто- поезда с тормозным		Действительный тормоз- ной путь автопоезда с нетормозным	
	трейлером	прицепом	трейлером	прицепом	трейлером	прицепом
Автопоезд с нагрузкой						
10	2,1	2,2	2,0	2,2	3,3	2,4
20	6,9	7,8	6,2	6,2	6,2	7,1
30	16,2	17,8	11,9	17,9	16,5	17,0
40	26,8	29,0	19,2	19,2	23,0	29,0
50	43,8	33,2	28,0	28,2	44,0	45,1
Автопоезд без груза						
10	2,1	1,4	2,1	1,25	2,6	1,40
20	5,7	4,9	5,0	4,1	6,6	4,2
30	11,4	9,75	10,1	9,20	14,2	9,4
40	18,8	15,9	16,0	15,3	24,7	18,5
50	28,4	26	25,8	25	35,5	28
60	39,0	35,4	35,1	34,5	49,1	41,0

грунтовой и гравийной дорог. На снежной дороге возможно скольжение колес при торможении.

В табл. 3 приведено значение тормозных путей автопоездов МАЗ+трейлер и МАЗ+ТМЗ—803 для различных дорожных условий.

В табл. 4 приведены значения тормозных путей при различных скоростях движения по дорогам с твердым покрытием.

Рассматривая результаты исследования тормозных свойств лесовозных автопоездов, можно отметить следующее: значение тормозных путей на грунтовых дорогах, где автопоезда движутся со скоростью 15—25 км/ч, близко соответствуют расчетным.

Тормозной путь лесовозного автопоезда без нагрузки больше тормозного пути груженого поезда на 3 м при скорости движения 40 км/ч.

При такой же скорости движения разница тормозных путей автопоездов МАЗ+трейлер с тормозными и без тормозных средств составляет 8,7 м.

Разница между расчетными тормозными путями груженых автопоездов МАЗ+трейлер и МАЗ+2—Р—15 и действительными до скорости 40 км/ч небольшая. Однако при больших скоростях эта разница возрастает до 16,9 м при 50 км/ч.

Тормозной путь груженого автопоезда МАЗ+2Р—15 с нетормозным прицепом при скорости 40 км/ч равен тормозному пути автопоезда с тормозным прицепом при скорости 50 км/ч.

Применение тормозных прицепов (созданных на базе нетормозных) и тормозного трейлера позволило увеличить скорости движения по дорогам общего пользования, а следовательно, и производительность автопоездов, обеспечивая при этом безопасность движения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б о б к о в В.Ф. Проходимость колесных машин по грунту. — М.: Автотранспорт, 1959.
2. Г е с л е р В.М. Исследование процесса торможения. — Алма-Ата, 1957.
3. К о р у з е И.Л. Торможение автомобиля. — М.: Автотрансиздат, 1956.
4. Л а п т е в А.С. Дорожные испытания автомобилей. — М.: Машигиз, 1962.
5. Б е л е н ь к и й Ю.Б. Новое в расчете и конструировании тормозов автомобиля. — М.: Автотранспорт, 1965.

УДК 629.114.2

М.Ф.СЕМЕНОВ, канд.техн.наук,

В.И.СОЛДАТЕНКОВ, инженер

(Ухтинский индустриальный институт)

### НАГРУЖЕННОСТЬ И УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ СИЛОВОЙ ПЕРЕДАЧИ ТРАКТОРА ТБ-1 ПРИ ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИИ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ

Исследования по оценке нагруженности и прочности силовой передачи трактора ТБ-1 проводились в Крутянском ЛПХ объединения "Ухталес" в зимнее время года на лесосеках с ровным рельефом. Глубина снежного по-