

УДК 630\*377:629.114.207

*Г.Д. Главацкий, К.В. Романович*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ ОПОРНЫХ КАТКОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЛЕСНОГО ТРАКТОРА**

Обоснована возможность оснащения трелевочного трактора ТТ-4 навесным технологическим оборудованием для выполнения лесопожарных и лесохозяйственных работ.

опорные катки трактора, нагруженность, эксперимент, навесная нагрузка, согласование.

Задачу создания специализированных тракторов для лесного хозяйства с гидрофицированными задней и передней навесными системами в течение ряда лет решали ученые и конструкторы лесной отрасли. Для практической реализации было предложено в качестве энергетической базы использовать трелевочные тракторы ТТ-4. Их гусеничный движитель максимально приспособлен для движения по лесу и послужил базой для создания различной лесозаготовительной техники (валочная машина ВМ-4, валочно-трелевочная машина ВТМ и др.).

Для получения согласия от Алтайского тракторного завода на применение трелевочного трактора ТТ-4 в качестве базы для создания многопрофильного лесного трактора необходимо экспериментально обосновать возможность его оснащения передней и задней навесными системами для навешивания технологического оборудования для выполнения лесопожарных и лесохозяйственных работ.

Исследования проведены ВНИИПОМлесхозом в течение четырех лет. Переоборудование трактора ТТ-4 включало: демонтаж щита и лебедки, разработку, изготовление и монтаж передней и задней гидрофицированных навесных систем. Для передней навесной системы был разработан и изготовлен клин КРП-2,5А массой 870 кг для расчистки и минерализации почвы. Сзади навешивали серийный плуг ПЛШ-1,2 массой 650 кг. Массы выбранного технологического оборудования несколько превышали аналогичные показатели как у серийных навесных орудий, так и у находящихся в перспективной разработке. Это обуславливало возможность работы создаваемого лесного трактора с широким шлейфом навесных машин и орудий.

Перемещаясь по естественной поверхности грунта, МТА передает на почву свой эксплуатационный вес  $G_{э,агр}$  и динамические нагрузки через опорные катки и опорные поверхности гусениц трактора. Из теории гусеничных машин [1–3] известно, что навешивание на передние и задние системы трактора технологического оборудования существенно влияет на показатели эксплуатационной надежности ходовой части. Вследствие перераспределения масс и силовых нагрузок, возникающих при выполнении

технологических операций, нарушается устойчивость заданного динамического режима, возрастает интенсивность изнашивания и поток ресурсных отказов основных узлов и деталей ходовой части, лимитирующих долговечность гусеничных движителей в целом.

Для гусеничных движителей такими характеристиками являются допустимые величины максимальных нормальных нагрузок на каждый опорный каток  $N_{i\max}$  и максимальных удельных давлений звеньев гусениц на грунт под опорными катками  $P_{i\max}$ . Величина и характер изменения  $N_{i\max}$  и  $P_{i\max}$  в значительной степени определяют проходимость трактора, его тягово-сцепные свойства, нагруженность и долговечность элементов ходовой системы, а следовательно, и эффективность использования гусеничного трактора в различных условиях.

Если бы опорная поверхность гусеницы находилась под бесконечно большим натяжением и представляла собой жесткую пластину, а центр тяжести трактора совпадал с серединой длины опорной поверхности гусеницы и центром давления  $D$ , то при неподвижном тракторе нормальное давление гусениц на грунт распределялось бы по всей длине опорной поверхности гусеницы равномерно и эпюра давления гусеницы в этом случае имела вид прямоугольника с ординатой  $P_{\text{ср}}$ , определяемой по формуле [1]

$$P_{\text{ср}} = \frac{G_{\text{э.ап}}}{2bL_r},$$

где  $b$  – ширина гусеницы, м;

$L_r$  – длина опорной поверхности каждой гусеницы, м.

Однако эта зависимость не позволяет оценить различные варианты комплектования агрегата, так как не отражает изменение удельного давления под опорными катками гусениц реальных гусеничных движителей отечественных трелевочных тракторов, имеющих отношение расстояния между соседними катками  $l_0$  к шагу звена  $t_r$  гусеницы более 3 и передающих давление гусениц на грунт только звеньями, расположенными непосредственно под опорными катками [2], при некотором участии соседних звеньев.

Со стороны грунта на звено гусеницы (опорный каток) действует нормальная реакция  $Y_i$ , приближенно равная нормальной нагрузке на данный каток  $N_i$ . Зная максимальную нагрузку на каток  $N_{i\max}$ , можно определить максимальное давление  $P_{i\max}$  звена гусеницы на грунт в зоне его расположения по формуле [1]

$$P_{i\max} = \frac{N_{i\max}}{bt_r},$$

где  $N_{i\max}$  – максимальная динамическая нагрузка на наиболее нагруженном катке, кН.

Ходовая часть трактора ТТ-4 имеет полужесткую рычажно-балансирную подвеску остова трактора с четырьмя каретками. Для движителей такого типа характеристикой распределения нормальных давлений гусениц на грунт могут служить суммарные нормальные реакции грунта  $Y_1$

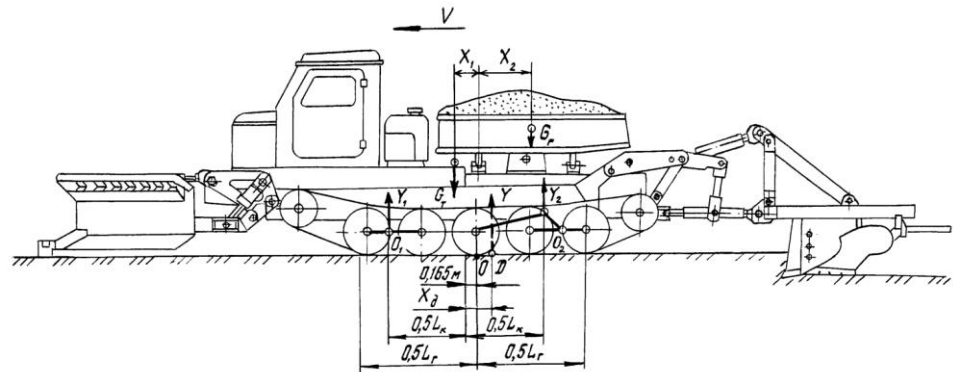


Рис. 1. Схема сил и реакций, действующих на экспериментальный лесной трактор в агрегате с технологическим оборудованием при установившемся движении

и  $Y_2$  на опорные катки кареток. На рис. 1 приведена схема внешних сил и реакций при установившемся движении экспериментального лесного трактора в агрегате с технологическим оборудованием по горизонтальной поверхности. Результирующая нормальных реакций грунта  $Y$  находится в центре давления трактора  $D$  и равна сумме нормальных реакций грунта на опорные катки задних балансирных кареток  $Y_2$  и на опорные катки балансирных кареток  $Y_1$ , проходящих через оси  $O_2$  и  $O_1$ , на которых располагаются каретки.

Максимальные нормальные давления и характер их распределения по опорным каткам гусеничного движителя зависят от величины и направления внешних нагрузок, приложенных к трактору в продольно-вертикальной плоскости (эксплуатационный вес агрегата, тяговое сопротивление на крюке, результирующая всех нормальных реакций грунта), расположения центра тяжести и центра давления трактора, физико-механических свойств грунта [1–3]. Основными показателями, характеризующими распределение нормальных давлений гусениц на грунт, являются коэффициент смещения центра давления  $K_{ц.д}$  трактора и коэффициент неравномерности распределения максимальных удельных давлений по опорным каткам  $\xi$  (коэффициент распределения максимумов давления звена гусеницы на грунт под опорными катками). Коэффициент  $K_{ц.д}$  определяется по формуле [3]

$$K_{ц.д} = \frac{0,165X_d}{L_r} = \frac{\Delta}{L},$$

где  $X_d$  – смещение центра давления  $D$  – точки приложения результирующей всех нормальных реакций грунта  $Y \approx (Y_1 + Y_2) \approx G_{э.агр}$  на катки балансирных кареток относительно середины расстояния  $L_k$  между осями качания кареток, м,

$$X_d = \frac{(Y_2 - Y_1) \cdot 0,5L_k}{Y_2 + Y_1},$$

$\Delta$  – смещение центра давления  $D$  относительно середины длины опорной поверхности гусеницы, м.

Значение  $K_{ц.д} = 0,16$  считается предельно допустимой величиной коэффициента смещения центра давления  $D$  [3], так как при превышении этой величины часть опорной поверхности гусениц перестает принимать участие в передаче давлений на почву.

Коэффициент неравномерности распределения максимальных удельных давлений по опорным каткам гусеничного движителя находится по формуле

$$\xi = \frac{P_{i \max}}{P_{\text{ср}}},$$

где  $P_{\text{ср}}$  – среднее удельное нормальное давление гусениц на грунт (вариант 1), кПа,

$$P_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{10} N_i}{2n_k b t_r};$$

$n_k$  – число опорных катков на одной стороне гусеницы.

При экспериментальных исследованиях решали следующие задачи:

1) изучение влияния масс технологического оборудования, навешиваемого на трактор ТТ-4 для выполнения основных видов лесохозяйственных и лесопожарных работ, на изменение нормальных нагрузок на опорные катки;

2) определение максимальных удельных давлений на грунт под опорными катками;

3) определение коэффициентов смещения центра давления трактора и коэффициентов неравномерности распределения максимальных удельных давлений под опорными катками.

Для количественной оценки влияния масс навесного технологического оборудования на уровень нагруженности опорных катков кареток гусеничного движителя проведены лабораторные исследования и полевые испытания экспериментального образца лесного трактора, созданного на базе трелевочного трактора ТТ-4.

При лабораторных исследованиях определены весовые характеристики различных вариантов агрегата. Задача полевых испытаний заключалась в получении экспериментальных данных об уровне нагруженности опорных катков кареток в наиболее типичных условиях эксплуатации лесного трактора. Варианты составов, условия и режимы работы экспериментального МТА приведены в табл. 1. Груз массой 5 т в кузове трактора (вариант 3) имитировал массу бака лесопожарного трактора вместимостью 4 м<sup>3</sup>. Набор технологического оборудования на передней и задней навесных

системах обеспечивал выполнение основных видов наиболее энергоемких лесокультурных и лесопожарных работ.

На полевых испытаниях определяли следующие параметры:

1) нормальную нагрузку на опорных катках с помощью тензометрического устройства для измерения нормальных реакций грунта на опорных катках гусеничных машин;

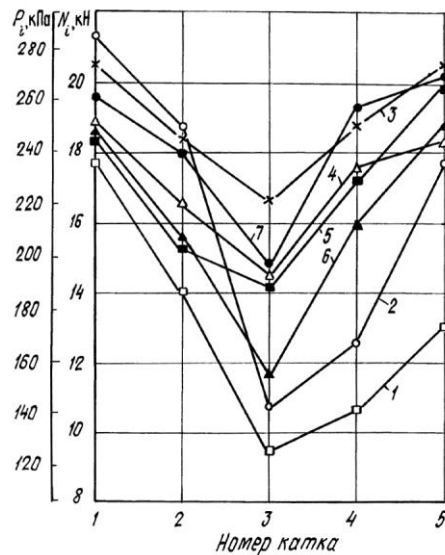
2) тяговое сопротивление плуга с помощью тензометрической рамки, изготовленной по схеме ОНИС – НАТИ;

3) частоту вращения измерительного колеса с помощью бесконтактного датчика частоты вращения.

Таблица 1

Вариант	Технологическое оборудование	Характеристика участка	$V_{\text{раб}}$ , км/ч
1. Движение трактора на участке	–	Грунтовая дорога с дерново-подзолистой среднесуглинистой почвой (высота неровностей микрорельефа $\leq 90$ мм; длина неровностей 3...8 м; твердость и влажность грунта в слое 0...20 см равна соответственно 5,1 МПа и 20...25 %)	1,02
2. Движение трактора с клином в транспортном положении	Клин КРП-2,5А на передней навеске	То же	5,10
3. Транспортировка груза массой 5 т в кузове трактора	–	»	3,20
4. Движение трактора с клином и плугом в транспортном положении	КРП-2,5А, плуг ПЛШ-1,2 на задней навеске	»	4,20
5. Движение трактора с плугом в транспортном положении	ПЛШ-1,2 на задней навеске	»	3,08
6. Прокладка противопожарных минерализованных полос	Клин КРП-2,5А в рабочем положении	Задернелая вырубка с дерново-подзолистой среднесуглинистой почвой (твердость и влажность почвы в слое 0...20 см равна соответственно 2,6...3,2 МПа и 25...34 %)	1,80
7. Нарезка борозд шириной 1,2 м и глубиной до 25 см под посадку лесных культур	ПЛШ-1,2 в рабочем положении	То же	2,92

Рис. 2. Распределение нормальных нагрузок  $N_i$  на опорные катки кареток подвески и удельных нормальных давлений  $P_i$  звеньев гусениц на грунт под опорными катками кареток экспериментального лесного трактора при вариантах состава МТА 1–7



Осциллографические записи обрабатывали на приборе ПОБД-12, дальнейшая обработка экспериментальных данных выполнена на ЭВМ «Искра» с получением средних значений измеряемых величин.

Анализ экспериментальных данных, представленных на рис. 2 и в табл. 2, свидетельствует, что по сравнению с вариантом 1 силовое воздействие навесного технологического оборудования на трактор (варианты 2 – 7) вызывает увеличение нагрузок на опорные катки и смещение центра давления трактора. При этом во всех вариантах комплектования МТА максимальные нагрузки приходятся на первый и пятый катки, что объясняется влиянием усилия натяжения гусениц. В зависимости от варианта комплектования МТА диапазон варьирования максимальных нагрузок по каткам составил: первый – от 17,7 до 21,2 кН (19,8 %); второй – от 14,0 до 18,6 кН (32,8 %); третий – от 9,3 до 16,6 кН (78,5 %); четвертый – от 10,7 до 19,1 кН (78,5 %); пятый – от 13,0 до 20,5 кН (57,7 %).

Навешивание технологического оборудования на переднюю навесную систему лесного трактора (клин КРП-2,5А) приводит к увеличению максимальных нагрузок на передние катки до 21,2 кН или на 19,8 % (вариант 2). В рабочем положении клина (вариант 6) нагрузка на передние катки возрастает до 18,7 кН. Нагрузка на задние катки увеличивается на 37,7 % при транспортном и на 44,6 % при рабочем положении клина.

Коэффициент смещения центра давления при установившемся движении трактора  $K_{ц.д} = |0,05| < [K_{ц.д}] = 0,16$ . В случае навешивания клина на переднюю навесную систему  $K_{ц.д} = |0,052| < [K_{ц.д}]$  в транспортном и  $K_{ц.д} = |0,045| < [K_{ц.д}]$  в рабочем положении орудия. Навешивание орудия только на переднюю навесную систему вызывает наиболее неравномерное распределение нормальных давлений по каткам движителя при транспортных переездах агрегата. Коэффициент  $\xi$  имеет максимальное значение для

первого и минимальное для третьего катка из всех испытанных вариантов МТА.

В вариантах 5 и 7 навешивание на заднюю навесную систему вызывает увеличение нагрузки на первом катке на 8 ... 10, на пятом на 50 ... 55 % по сравнению с вариантом 1, а центр давления  $D$  смещается назад в сторону приложения тяговой нагрузки (вариант 7). В обоих вариантах  $K_{ц.д} < [K_{ц.д}]$ .

Из анализа экспериментальных данных, приведенных на рис. 2 и в табл. 2, следует, что оптимальные нагрузочные режимы для опорных катков

Таблица 2

Номер варианта	Коэффициент $K_{ц.д} \cdot 10^{-2}$	Коэффициент $\xi$ по опорным каткам				
		1	2	3	4	5
1	5,0	1,36	1,10	0,70	0,80	1,00
2	5,2	1,60	1,43	0,80	0,96	1,40
3	-0,5	1,58	1,40	1,30	1,45	1,58
4	-0,5	1,45	1,28	1,10	1,40	1,42
5	-2,0	1,42	1,16	1,10	1,35	1,54
6	-0,45	1,44	1,18	0,90	1,24	1,45
7	-0,5	1,50	1,14	1,14	1,47	1,55

гусеничного движителя лесного трактора создаются в вариантах 3 и 4. Коэффициент смещения центра давления  $K_{ц.д} = 0,005 < [K_{ц.д}]$  для обоих вариантов, а коэффициент  $\xi$  изменяется в меньших интервалах, чем у самого трактора (вариант 1).

Силовое воздействие технологического оборудования приводит к увеличению коэффициента неравномерности распределения нормальных давлений по опорным каткам во всех шести вариантах комплектования МТА. Однако с ростом максимальных давлений  $P_{i\max}$  коэффициент неравномерности  $\xi$  изменяется незначительно, так как при этом увеличивается и среднее давление  $P_{ср}$ .

Анализируя полученные экспериментальные данные, можно заключить, что навешивание технологического оборудования на переднюю и заднюю навесные системы лесного трактора не вызывает предельных нагрузок на опорные катки гусеничного движителя трелевочного трактора. По результатам испытаний было получено согласие Алтайского тракторного завода на применение трактора ТТ-4 в качестве базы для лесных тракторов. Созданные во ВНИИПОМ в результате дальнейших исследований лесохозяйственный ЛХТ-4 и лесопожарный ТЛП-4 тракторы прошли широкие производственные испытания в различных лесорастительных условиях и рекомендованы государственной приемочной комиссией для серийного производства. В настоящее время машиностроительными предприятиями отрасли выпущено более 800 тракторов ЛХТ-4 и ТЛП-4.

В связи с переходом Алтайского тракторного завода на выпуск модернизированных тракторов ТТ-4М институтом проведены исследования и разработаны тракторы ЛХТ-4М и ТЛП-4М на базе нового трелевочного

трактора, которые приняты государственной комиссией и рекомендованы к серийному производству.

Для оснащения тракторов ЛХТ-4 и ТЛП-4, наряду с клином КРП-2,5А, институтом разработано орудие для расчистки и раскорчевки полос ОРП-2,6, бульдозерное оборудование ОБ-4, подборщик-транспортировщик порубочных остатков ПТ-3,2, машина для послойного фрезерования лесных почв МПФ-1,2, плуг ПЛ-2 для создания и многократного подновления минерализованных противопожарных полос, полосопрокладыватель лесной комбинированный ПЛК-5 и другое оборудование, поставляемое по прямым заказам лесохозяйственных предприятий экспериментально-механическими мастерскими института.

Опыт эксплуатации тракторов ЛХТ-4 и ТЛП-4 свидетельствует о том, что в агрегате с новыми и серийными машинами и орудиями они обеспечивают комплексную механизацию энергоемких лесохозяйственных и лесопожарных работ в таежных условиях. Перспектива применения этой техники в лесном хозяйстве в условиях перехода к рыночным методам регулирования производственных отношений видится в расширении межхозяйственных связей для приобретения и организации ее эффективного использования, что послужит сохранению и приумножению лесных ресурсов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория, конструкция и расчет строительных и дорожных машин / Под общ. ред. Л.А. Гобермана. – М.: Машиностроение, 1979. – 407 с.
2. Тракторы (теория): Учеб. для студентов вузов по специальности «Автомобили и тракторы» / Под общ. ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
3. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. – М.: Колос, 1972. – 384 с.

ВНИИПОМлесхоз

Поступила 18.10. 2000 г.

*G.D. Glavatsky, K.V. Romanovich*

#### **Study of Force Conditions of Bearing Rollers of Experimental Forestry Tractor**

The possibility of skidding tractor (ТТ-4) rigging with mounted technological equipment for carrying out forest-fire protection and forestry work is substantiated.