

В. А. Симанович, канд. техн. наук, доцент, В. С. Исаченков, ассистент, БГТУ

## ОЦЕНКА ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ТРАКТОРОВ С УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ

Results of operational investigation dynamic burden wheel skidding tractor TTR-401 with a serial and advanced design of the process equipment are resulted.

**Введение.** Тенденция увеличения мощностных показателей двигателей внутреннего сгорания для тракторов общего и специального назначения всегда была насущной проблемой. Это связано прежде всего с тем, что скорости выполнения операций, процессов и их количество возросли ввиду многофункционального назначения машин.

С повышением энергоемкости и скоростей движения колесных трелевочных тракторов интенсивность процессов переходного и установившегося режимов возросла. Колебательные нагрузки на двигатель увеличились в 1,6–1,7 раза, что существенно повлияло на динамические явления в трансмиссии, ходовой части, а также узлах технологического оборудования [1]. Развитие науки о нагрузочных режимах в деталях и узлах перечисленных выше систем транспортных средств идет по пути его представления расчетными схемами в виде многомассовых колебательных систем с сосредоточенными параметрами. Динамика движения транспортного средства должна исследоваться на основе представления его расчетной схемы как колебательной [2] с учетом влияния на тяговые свойства внешних нелинейных характеристик двигателя, параметров жесткости трансмиссии, шин и их демпфирующих свойств. Рассмотрение неустановившегося и установившегося процессов взаимодействия двигателя с транспортным средством как колебательной системой позволяет расширить понимание реального процесса этого взаимодействия, наметить пути и методы расчета совершенствования динамики разгона и движения. Такой подход связан с представлением затрат мощности двигателя на совместные колебания подсистем машины, величины которых могут быть обоснованы после разработки математических моделей динамики разгона и движения машины как колебательной системы.

**1. Лабораторные опыты по определению параметров предмета труда.** Разработка математической модели «колесный трелевочный трактор – пачка деревьев» требовала проведения опытов по уточнению параметров отдельных хлыстов с целью определения параметров жесткости в зависимости от длины подвеса на канате лебедки. Определение параметров отдельных хлыстов производилось в состоянии, приближенном к транспортируемому в силовом контуре трелевочного оборудования трактора ТТР-401. Комлевая часть дерева приподнима-

лась на жесткой конструкции на высоту 0,4 и 0,6 м, что соответствовало величине ее подъема при трелевке деревьев. При определении параметров жесткости учитывалась порода деревьев, возраст, объем, длина хлыста, длина части дерева, перемещающегося по трелевочному волоку, величина прогиба хлыста в центре тяжести при изменении нагрузки от 200 до 1000 Н. Выбирались хлысты в возрасте 50–60 лет в делянках Литвянского лесничества Негорельского учебно-опытного лесхоза БГТУ. Опыты проводились с хлыстами сосны, ели и березы. Объем хлыстов изменялся в широком диапазоне – 0,31; 0,40; 0,48; 0,71 м<sup>3</sup> при общей длине 24–28 м. Опытами было установлено, что при увеличении объема хлыста более чем в два раза жесткость возрастала примерно в таких же пределах. Для длин деревьев 24–28 м и при подъеме комлевой части на 0,4 м длина части ствола, контактирующего с поверхностью волока, составляла 13–17 м. Параметры жесткости отдельных деревьев для высот 0,4 и 0,6 м отличаются незначительно. Наибольшее влияние на жесткость оказывает объем дерева. Параметры жесткости пачки деревьев из трех хлыстов на 12–18% выше жесткости отдельных деревьев. При равных объемах хлыста и длинах параметры жесткости у сосны и ели примерно на 35–60% выше, чем у березы. Анализ параметров жесткости хлыстов различных пород выявил, что для трелевочных тракторов ТТР-401 единичные деревья могут транспортироваться к погрузочным площадкам при подъеме комлевой части, измеренной по центру дерева на высоте 0,3–0,8 м над поверхностью волока. Дальнейший подъем комлевой части невозможен из-за несовершенства конструкции трелевочного оборудования.

**2. Определение параметров базовой машины.** Уточнение отдельных параметров трелевочного трактора ТТР-401 проводилось с целью проведения расчетных исследований по динамической нагруженности элементов силовой передачи и несущих систем. Эксплуатационными исследованиями было установлено, что работа машины на грунтах с низкой несущей способностью сопровождается буксованием, что приводит к потерям времени производственного цикла и в конечном итоге снижает производительность на трелевке. Транспортировка пачек деревьев с объемом более чем 1,5 м<sup>3</sup> вызывала затруднения. С этой целью была усовершенствована конструкция

трелевочного оборудования. К боковой части трелевочного щита монтировались колеса на специальной оси. После усовершенствования ходовой системы на специальных весах были определены весовые параметры трактора с такой конструкцией. Установлено, что догрузка оборудования специальной осью с колесами на 3% повышала нагрузку на задний мост. Определялись такие параметры трактора ТТР-401 с усовершенствованной конструкцией несущей системы, как расположение центра тяжести в порожнем состоянии, соотношения весовых параметров относительно центра тяжести, вертикальная жесткость шин, и другие значения, необходимые для проведения расчетных и исследовательских испытаний. Общий вид переоборудованного трактора ТТР-401, подготовленного к производственным испытаниям, представлен на рис. 1.

**3. Методика исследовательских испытаний.** Для измерения силовых, скоростных и динамических показателей трактора ТТР-401 на трелевке с усовершенствованной конструкцией несущей системы использовалась информационно-измерительная система, состоящая из малогабаритной измерительной аппаратуры ЭМА-П и комплекта тензометрических узлов и приборов, виброметра «Октава-101», динамометра на 50 кН. Съем сигналов с тензорезисторов, расположенных на вращающихся валах, осуществлялся ртутно-амальгамирован-

ными токосъемниками типа ТРАК-4 и ТРАП-45. Комплект тензометрических узлов и приборов состоял из тензометрических полуосей задних ведущих колес трактора, тензометрического карданного вала привода передних ведущих колес, датчика расхода топлива ИП-179ПС, датчика оборотов вала двигателя, путеизмерительного колеса.

Информационно-измерительная система позволила измерить следующие показатели: крутящий момент на левом заднем колесе трактора, крутящий момент на карданном валу привода передних ведущих колес трактора, частоту вращения вала двигателя, пройденный путь, продолжительность опыта, величину виброускорения на месте сидения водителя, усилие в канате лебедки трелевочного оборудования.

При проведении опытов с объемом пачек деревьев 1; 1,4 и 1,8 м<sup>3</sup> заезды проводились на пасечном и магистральном волоках с различной несущей способностью грунтов. Скорости движения на различных передачах трактора изменялись в пределах 1,2–2,6 м/с.

Длина участков, на которых проводились опыты, составляла 200 метров.

Преодоление труднодоступных участков на пути движения трелевочного трактора сопровождалось буксованием, что приводило к потере времени при работе трактора или к изменению маршрута движения с пачкой деревьев.



Рис. 1. Переоборудованный трелевочный трактор ТТР-401

В случае начала буксования передних и задних колес трактора тракторист останавливал транспортное средство, опускал трелевочный щит на дополнительную пару колес, закрепленных на щите при помощи оси. Такая операция приводила к перераспределению нагрузки по мостам. Передний мост догружался, и за счет улучшения тяговых свойств трактор преодолевал труднопроходимые участки трелевочных волоков. В последующем щит приподнимался и колеса вывешивались вместе с пачкой деревьев.

**4. Результаты исследовательских испытаний.** Испытаниями трелевочного трактора ТТР-401 с усовершенствованной конструкцией несущей системы были подтверждены расчетные исследования по выбору параметров системы «колесный трелевочный трактор – пачка деревьев» и динамической нагруженности элементов трансмиссии и отдельных узлов базовой машины, которые представлены в работе [4]. Измерительная аппаратура при испытаниях позволяла записать величины динамических параметров, которые дали возможность дать оценку и сравнить значения параметров для серийной и усовершенствованной несущей системы, работающей в эксплуатационных условиях. Значения показателей измеряемых величин фиксировались аппаратурой ЭМА-П в виде количества импульсов, определяемых путем умножения числа импульсов на градуировочный коэффициент, рассчитываемый по результатам градуировки информационно-измерительной системы для каждого показателя в отдельности. Так как градуировочные коэффициенты для каждого показателя являются величинами постоянными при данном процессе измерений, то определяемые таким образом показатели

следует рассматривать как результат прямых измерений. Это обстоятельство при проведении эксплуатационных испытаний позволило в дальнейшем провести сравнительную энергетическую оценку опытного образца трелевочного приспособления для трактора ТТР-401 в различных эксплуатационных режимах работы.

На рис. 2 представлены зависимости эффективной мощности двигателя от скорости движения при транспортировке пачек деревьев объемом 1; 1,4; 1,8 м<sup>3</sup> при скоростях передвижения 1,25–2,00 м/с. Зависимости 1, 2, 3 отражают изменение мощности двигателя при работе трактора ТТР-401, а кривые 4, 5, 6 отражают эти изменения у трактора с усовершенствованной несущей системой.

Зависимости  $N_e(v)$  не имеют линейного характера изменения. Увеличение объема пачки хлыстов на 0,4 м<sup>3</sup> по-разному влияет на изменение мощности. Так, для пачки деревьев объемом 1,8 м<sup>3</sup> в диапазонах скоростей 1,25–2,00 м/с эффективная мощность на передвижение изменяется в пределах 8,6–16,7 кВт, а для пачки 1,4 м<sup>3</sup> при аналогичных условиях  $N_e$  изменяется в пределах 8,6–16,7 кВт.

Зависимости мощности для усовершенствованной конструкции оборудования изменяются с меньшими отклонениями и по абсолютной величине они меньше, чем у серийного трактора ТТР-401 (кривые 4–6) на 7–16%.

Необходимо отметить, что увеличение скорости передвижения трактора приводит к снижению мощности в большей степени для усовершенствованной несущей конструкции. На наш взгляд, это можно объяснить большими по значению инерционными силами при увеличении скорости.

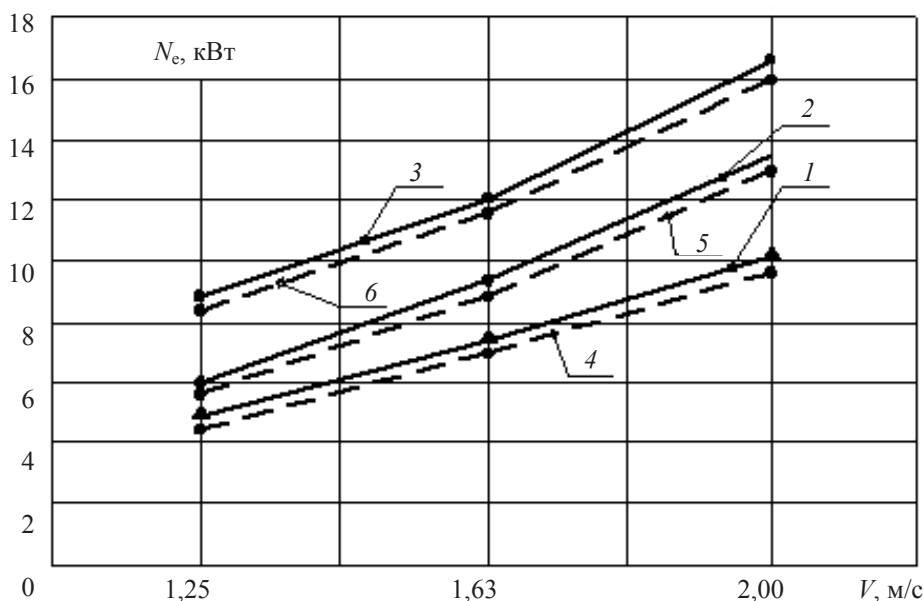


Рис. 2. Зависимость изменения эффективной мощности двигателя от скорости движения при различных объемах пачки хлыстов  
 1 –  $V = 1,0 \text{ м}^3$ ; 2 –  $V = 1,4 \text{ м}^3$ ; 3 –  $V = 1,8 \text{ м}^3$ ; 4 –  $V_{\text{пр}} = 1,0 \text{ м}^3$ ; 5 –  $V_{\text{пр}} = 1,4 \text{ м}^3$ ; 6 –  $V_{\text{пр}} = 1,8 \text{ м}^3$

На рис. 3 представлены зависимости изменения мощности на колесах заднего моста от скорости движения трактора при тех же условиях передвижения.

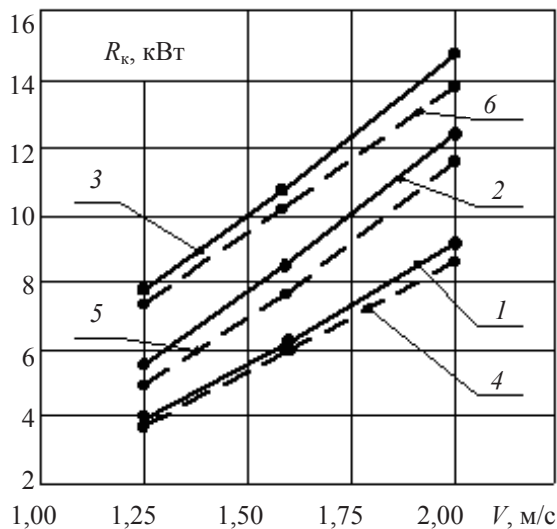


Рис. 3. Зависимость изменения мощности на колесах заднего моста от скорости движения трактора по трелевочному волоку:  
 1 –  $V = 1,0 \text{ м}^3$ ; 2 –  $V = 1,4 \text{ м}^3$ ; 3 –  $V = 1,8 \text{ м}^3$ ;  
 4 –  $V_{\text{пр}} = 1,0 \text{ м}^3$ ; 5 –  $V_{\text{пр}} = 1,4 \text{ м}^3$ ; 6 –  $V_{\text{пр}} = 1,8 \text{ м}^3$

Значения мощности на колесах заднего моста трактора с пачкой хлыстов при движении по трелевочному волоку с усовершенствованной конструкцией несущей системы по абсолютным показателям ниже. Так, для пачки с  $V = 1,4 \text{ м}^3$  в диапазоне скоростей 1,25–2,00 м/с значения  $N_e$  изменяются в пределах 5,6–12,3 кВт.

Отличия  $N_e$  для более высоких скоростей передвижения трелевочного трактора более заметны и по абсолютным значениям выше на 4–14% у трактора с серийной конструкцией технологического оборудования. Необходимо отметить и тот факт, что для усовершенствованной конструкции технологические составляющие времени процесса трелевки также снижаются, что приводит к повышению производительности работ на 8–14%.

Исследованиями было установлено, что показатели вибронгруженности на сиденье водителя выше у трактора ТТР-401 с серийным трелевочным оборудованием и достигают величины 1,35–2,6 м/с<sup>2</sup>. Большие значения вибронгруженности на сиденье водителя приходится при скорости движения трактора с  $V = 2 \text{ м/с}$ . Исследования показали, что вибронгруженность в большей степени зависит от скорости передвижения и подготовленности волоков, по которым перемещается трелевочный трактор.

**Выводы.** Повысить тягово-динамические качества лесных колесных тракторов при работе на грунтах с низкой несущей способностью можно путем совершенствования ходовой части и за счет этого достигнуть перераспределения нагрузок на несущую систему в процессе движения. Введение в конструкцию технологического оборудования дополнительного колеса (опоры) позволяет снизить показатели энергетического процесса трелевки на 5–12% при работе на грунтах с низкой несущей способностью. При установившихся режимах движения колесного трелевочного трактора ТТР-401 показатели мощности на ведущих органах ниже при работе машины с колесной опорой на трелевочном щите. Полученные данные могут быть использованы при проектировании колесных агрегатных машин на машиностроительных предприятиях, занимающихся выпуском колесной техники.

#### Литература

1. Кутьков, Г. М. Тяговая динамика тракторов / Г. М. Кутьков. – М.: Машиностроение, 1980.
2. Транспортные средства на высокоэластичных движителях / Н. Ф. Бочаров [и др.]. – М.: Машиностроение, 1974.
3. Жуков, А. В. Теория лесных машин / А. В. Жуков. – Минск: БГТУ, 2001.
4. Симанович, В. А. Разработка приведенной расчетной модели «колесный тягач – прицепной модуль – пачка деревьев» / В. А. Симанович, В. С. Исаченков // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть, 2005. – Минск. – Вып. XII. – С. 138–142.