

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ С КОЛЕСНОЙ ФОРМУЛОЙ 6К6

In article results of experimental researches of traction-coupling properties and are submitted to passableness forwarder of road. Forces of resistance to movement and tangents of force of draft are determined, traction characteristics forwarders are constructed during movement on grounds with various bearings ability. The carried out researches have allowed to recommend forwarder of road for development boggy forest.

Введение. Одним из этапов проектирования современных лесных машин являются организация и проведение исследовательских испытаний, результаты которых служат исходным материалом для разработки рекомендаций по совершенствованию конструкции отдельных узлов и агрегатов машины. Также по результатам экспериментальных исследований определяется адекватность разработанных математических моделей для расчета различных эксплуатационных параметров [1].

Экспериментальные исследования погрузочно-транспортной машины повышенной проходимости с колесной формулой 6К6 проводились в соответствии с методикой исследовательских и эксплуатационно-технологических испытаний, разработанной сотрудниками кафедры лесных машин и технологии лесозаготовки БГТУ и ОКБ РУП МТЗ.

Целью исследовательских испытаний являлось определение тягово-сцепных свойств и динамической нагруженности элементов трансмиссии и шасси лесной погрузочно-транспортной машины с колесной формулой 6К6 и различными типами движителей в заданных эксплуатационно-производственных условиях.

Организация исследовательских испытаний. Объектом исследовательских испытаний являлась лесная колесная погрузочно-транспортная машина повышенной проходимости с шарнирно-сочлененной рамой и колесной формулой 6К6 «БЕЛАРУС» МЛПТ-364.

Перед проведением экспериментальных исследований проводилась подготовка объекта испытаний, которая включала проверку технического состояния и проведение необходимых регулировок оборудования, установку приспособлений и датчиков в местах измерений. Монтаж регистрирующей аппаратуры производился в кабине машины. До начала исследовательских испытаний и в процессе их проведения осуществлялись лабораторные измерения и тарировка измерительной аппаратуры.

Выбор режимов испытаний был определен исходя из назначения машины и включал трогание с места порожней и груженой машины, установившееся движение, переезд неровностей, выполнение операций технологического

процесса по погрузке и транспортировке пачек сортиментов. При этом измерялись следующие параметры: статические нагрузки на осях; моменты инерции машины; масса перевозимой пачки сортиментов; крутящие моменты на полуосях колес энергетического и технологического модулей; число оборотов колес; угол поворота тандемной балансирной тележки относительно оси качания; вертикальные ускорения на полу кабины; буксование машины; силы сопротивления движению и тяговое усилие погрузочно-транспортной машины с колесным и колесно-гусеничным типами движителей на различных скоростях движения в порожнем и груженом состояниях.

Для проведения испытаний были выбраны четыре опытных участка трелевочных волоков, каждый из которых соответствовал определенному типу местности согласно СТБ 1342-2002 «Устойчивое лесопользование и лесопользование. Машины для рубок леса. Общие технические требования». Длина каждого из опытных участков составляла 100 м. Также был подготовлен опытный участок с характерными единичными неровностями различного профиля.

Для регистрации крутящих моментов на колесах энергетического и технологического модулей были изготовлены специальные тензометрические узлы (тензодиск и тензоступицы), сигналы с которых снимались концевыми токосъемниками. На токосъемниках были смонтированы приспособления для определения числа оборотов колес, которые позволяли определять угол поворота колес с точностью 60°.

Угол поворота балансирной тележки относительно оси качания определялся с помощью потенциометрического датчика кругового действия с подвижным контактом, который монтировался на специально изготовленном кронштейне.

Регистрация сил сопротивления движению и тяги форвардера 6К6 повышенной проходимости производилась с помощью тягового тензозвена с максимальной нагрузкой 150 кН.

При проведении испытаний выполнялись работы по монтажу и демонтажу легкоъемных гусениц, определялось время, необходимое на их установку, которое составило для пары гусениц 40 мин.

Измеряемые параметры регистрировались и записывались с помощью восьмиканального многофункционального измерительного комплекса SPIDER-8 и портативного переносного компьютера. Измерительная аппаратура располагалась в кабине погрузочно-транспортной машины. Питание портативного компьютера и усилительного комплекса осуществлялось от аккумуляторной батареи форвардера с помощью специального преобразователя электроэнергии (адаптера).

Регистрируемые параметры записывались на жесткий диск компьютера. Программное обеспечение, установленное на портативном компьютере, позволяло проводить предварительную обработку полученных результатов.

Результаты исследовательских испытаний. В результате исследовательских испытаний были получены численные значения регистрируемых параметров (крутящих моментов, оборотов колес, угла поворота балансирной тележки относительно оси ее качания, усилия сопротивления движению, силы тяги, ускорений на полу кабины).

Обработка результатов испытаний позволила определить силы сопротивления движению погрузочно-транспортной машины, расчетным путем получены значения коэффициентов сопротивления, которые при движении по волоку первого типа местности для погрузочно-транспортной машины с колесным двигателем составили 0,061–0,062, для форвардера с легкосъёмными гусеницами – 0,16–0,17. Аналогичные расчеты выполнены и для остальных волоков.

При движении погрузочно-транспортной машины с колесно-гусеничным типом двигателя был определен вклад в суммарный коэффициент сопротивления движению от гусеницы по сравнению с колесным двигателем. Для достижения данной цели коэффициент сопротивления движению был разбит на две составляющие: f_k – коэффициент сопротивления движению колесного форвардера и f_r – добавочный коэффициент сопротивления движению, обусловленный перематыванием гусениц на колесах балансирной тележки.

Коэффициент сопротивления движению колесного форвардера f_k определялся по формуле

$$f_k = \frac{F_{\text{сопр.к}}}{G_{\text{ф}} + G_{\text{п}}},$$

где $F_{\text{сопр.к}}$ – сила сопротивления движению колесного форвардера, кН; $G_{\text{ф}}$, $G_{\text{п}}$ – вес форвардера и транспортируемой пачки, соответственно, кН.

Выражение для определения коэффициента сопротивления движению колесно-гусеничного двигателя $f_{\text{кг}}$ имеет вид

$$f_{\text{кг}} = \frac{F_{\text{сопр.кг}} - F_{\text{сопр.к}} \left(1 - \frac{a}{L}\right)}{G_r + \frac{a}{L} (G_{\text{ф}} + G_{\text{п}})},$$

где $F_{\text{сопр.кг}}$ – сила сопротивления движению форвардера с колесно-гусеничным типом двигателя, кН; L – продольная база погрузочно-транспортной машины м; a – расстояние от оси колеса энергетического модуля до центра масс; м, G_r – вес пары гусениц, кН.

Коэффициент сопротивления движению, обусловленного перематыванием гусеничной ленты f_r , определяли как разность $f_{\text{кг}}$ и f_k .

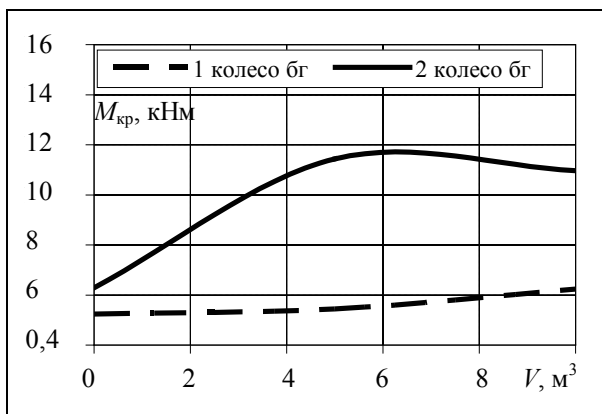
В результате расчетов получены зависимости коэффициентов сопротивления движению от объема транспортируемой пачки сортиментов. Установлено, что с увеличением объема перевозимой пачки наблюдается уменьшение коэффициентов сопротивления движению колесно-гусеничного двигателя $f_{\text{кг}}$ и f_r .

С увеличением скорости движения форвардера с 4 до 10 км/ч при движении по волоку с нормальной несущей способностью (первый тип местности) сила сопротивления движению возросла с 14,5 до 19,3 кН для колесной погрузочно-транспортной машины, для форвардера с колесно-гусеничным типом двигателя – с 41,2 до 45,3 кН. Разница в силах сопротивления форвардера с различным типом двигателя обусловлена увеличением веса машины и наличия потерь на перематывание легкосъёмной металлической гусеницы.

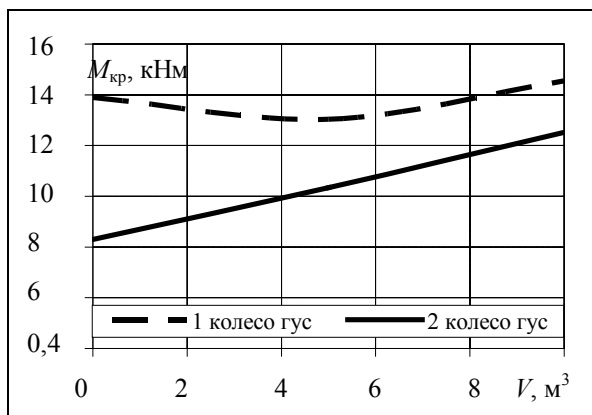
При движении по трелевочному волоку 1 типа местности форвардер с колесными двигателями развивал тяговые усилия 68–98 кН, а с колесно-гусеничными 80–113 кН. С увеличением объема перевозимой пачки сортиментов наблюдалось повышение тяговых усилий как для колесного форвардера, так и для погрузочно-транспортной машины повышенной проходимости. Расчетным методом определены коэффициенты тяги форвардеров с различными типами двигателей, которые для колесной машины на грунтах 1 типа местности составили 0,42–0,44, для форвардера с гусеницами на балансирных тележках – 0,45–0,47.

Крутящие моменты на колесах балансирной тележки достигали значений 8–10 кНм при движении форвардера без гусениц и 12–14 кНм – с гусеницами (рис. 1). Движение колесного форвардера сопровождалось буксованием 18–25% колес энергетического и технологического модулей, что приводило к значительному увеличению глубины колеи. При движении погрузочно-транспортной машины с колесно-гусеничным двигателем значения буксования колес балансирной тележки находились в пределах 5–9%. У колесного форвардера переднее колесо балансирной тележки развивает больший крутящий

момент, чем второе, на 25–40 кНм, и с увеличением массы перевозимой пачки сортиментов разница между моментами, а следовательно, и касательными силами тяги возрастает, что является недостатком данного типа движителя, особенно при движении по грунтам с низкой несущей способностью (3-й и 4-й типы местности). После монтажа на колеса балансирующей тележки легкоъемных гусениц больший по значению крутящий момент развивало заднее колесо тележки, и с увеличением нагрузки, приходящейся на ось балансирующей тележки, разница между значениями крутящих моментов уменьшалась с 20–30% до 10–15%.



а



б

Рис. 1. Крутящие моменты на колесах балансирующей тележки технологического модуля форвардера в зависимости от его загрузки:
а – форвардер без гусениц;
б – форвардер с гусеницами

Результатом экспериментальных исследований являются тяговые характеристики погрузочно-транспортной машины с различным типом движителей, на которых в зависимости от касательной силы тяги представлены изменения скорости v , буксования δ , тяговой мощности N_T . Данные показатели наиболее полно характеризуют тягово-сцепные свойства погрузочно-транспортной машины на волоках с различными значениями несущей способности [2].

Тяговые характеристики построены для каждого из выбранных волоков. На рис. 2 представлена тяговая характеристика форвардеров с различным типом движителя при движении по волокам первого типа местности.

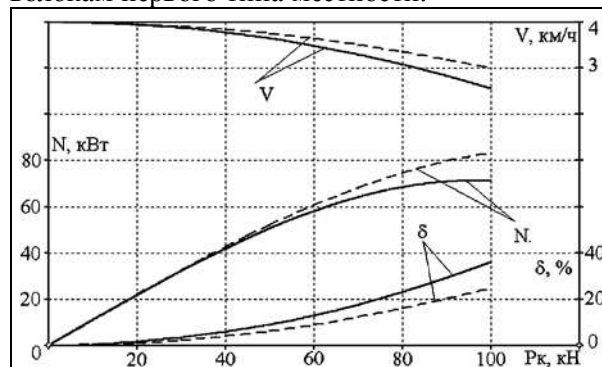


Рис. 2. Тяговые характеристики форвардеров с различным типом движителя при движении по волокам первого типа местности

Тяговые испытания на волоке первого типа местности показали, что колесная погрузочно-транспортная машина развивает максимальную тяговую мощность 72–74 кВт. При этом форвардер развивает касательную силу тяги 80–82 кН при скорости движения 3,1 км/ч. Буксование колес тандемной балансирующей тележки составляет 22%. При движении по данному волоку погрузочно-транспортной машины повышенной проходимости с колесно-гусеничным типом движителя максимальное значение тяговой мощности было достигнуто при касательной силе тяги 98 кН. Абсолютное значение тяговой мощности увеличилось в 1,14 раза и составила 82,2 кВт. Повышение тяговой мощности объясняется снижением в 1,36 раза буксования и некоторого повышения скорости движения (на 12%). Согласно теоретическим исследованиям, на волоке первого типа местности форвардер с комбинированным типом движителя способен развивать касательные силы тяги до 125–130 кН, однако вследствие ограниченной мощности установленного двигателя достижение максимальных сил тяги невозможно. Если нанести на тяговые характеристики силы сопротивления движению, то возможно определить интервалы касательных сил тяги, скорости и буксования, в которых возможно движение машины. Согласно теоретическим и экспериментальным исследованиям, силы сопротивления движению составили соответственно для колесной погрузочно-транспортной машины 20–25 кН, для форвардера с комбинированным типом движителя 44–47 кН. Следовательно, свободная касательная сила тяги, определяемая как разность касательной силы тяги и силы сопротивления движению, для колесного форвардера составит 62–65 кН, для колесно-гусеничного – 51–55 кН. При преодолении сил

сопротивления движению буксование колесного форвардера составляет 2–3%, погрузочно-транспортной машины с комбинированным типом движителя 5–7%, скорости движения при этом равны 3,9 и 3,5 км/ч соответственно. Приведенные аргументы позволяют однозначно рекомендовать для освоения лесосечного фонда, расположенного на грунтах 1-го и 2-го типов местности, погрузочно-транспортные машины с колесным типом движителя.

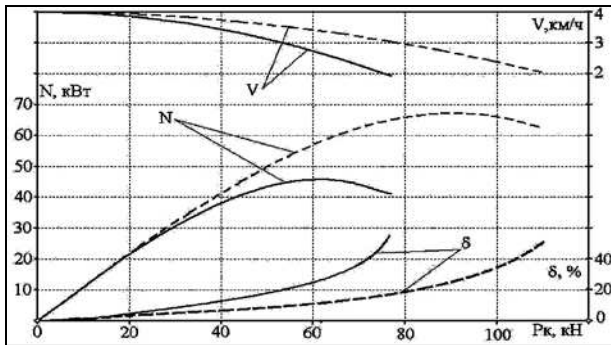


Рис. 3. Тяговые характеристики форвардеров с различным типом движителя при движении по волокам 3-го типа местности

С ухудшением почвенно-грунтовых условий эксплуатации форвардера (рис. 3) наблюдается снижение тяговой мощности форвардеров с колесным и колесно-гусеничным типами движителей, которое обусловлено снижением рабочих скоростей движения и повышением буксования. При движении по волоку 3-го типа местности колесная погрузочно-транспортная машина развивает касательную силу тяги 64–67 кН. Буксование в данном случае находится в пределах 27–30%, скорость движения 2,5–2,7 км/ч. Принятые параметры зарегистрированы при тяговой мощности, равной 47 кВт, которая в данном случае является максимальной и дальнейшее увеличение касательной силы тяги ведет к резкому повышению буксования и, следовательно, понижению скорости движения. В комплексе данные показатели приводят к снижению тяговой мощности машины. Эффективнее, в сравнении с колесной машиной, на волоках 3-го типа местности эксплуатировать форвардер с комбинированным типом движителя. Для данной машины сила сопротивления движению составила 54 кН, максимальное значение тяговой мощности 67–69 кВт получено при скорости движения 2,8 км/ч и буксовании 24–26%. Касательная сила тяги в данном случае составила 88–91 кН. Следует отметить, что для преодоления сопротивления движению колесный форвардер сможет двигаться со скоростью 3,2–3,3 км/ч при буксовании движителей 17–19%, движение погрузочно-транспортной машины с колесно-гусеничным типом движителя

осуществляется с буксованием 8–9%, скорость движения находится в пределах 3,3–3,5 км/ч. Свободная касательная сила тяги для колесного форвардера при движении по волоку 3-го типа местности составила 20–22 кН, у машины с комбинированным типом движителя данный показатель находится в пределах 35–37 кН.

Очевидно, что для эффективного освоения труднодоступного лесосечного фонда на колесных погрузочно-транспортных машинах необходимо использовать легкокошечные металлические гусеницы, которые позволяют повысить касательную силу тяги при снижении буксования и повышении скорости движения, что в результате приводит к повышению производительности работ на транспортировке сортиментов.

Выводы. 1. Во время транспортировки сортиментов по волокам первого типа местности силы сопротивления движению для колесного форвардера составили 20–25 кН, для колесно-гусеничного форвардера 44–47 кН. Определены коэффициенты сопротивления движению для форвардеров с различными типами движителя при эксплуатации на грунтах с различными физико-механическими свойствами. Установлено, что с увеличением транспортируемой пачки сортиментов коэффициент сопротивления движению колесно-гусеничного движителя технологического модуля снижается.

2. Построены тяговые диаграммы для форвардеров с колесным и комбинированным типами движителей при движении по волокам с различными физико-механическими свойствами, которые позволяют в зависимости от касательных сил тяги определять скорость движения, буксование и тяговую мощность. Определены значения свободной касательной силы тяги, которые при движении по волокам первого типа местности составили для колесного форвардера 62–65 кН, для колесно-гусеничного – 51–55 кН. При движении по волокам 3-го типа местности колесная машина развивает свободную касательную силу тяги 20–22 кН, форвардер с колесно-гусеничным типом движителя 35–37 кН.

3. Результаты исследовательских испытаний позволяют рекомендовать для освоения труднодоступного лесосечного фонда, находящегося на почвогрунтах 3-го типа местности, погрузочно-транспортные машины 6К6 с колесно-гусеничным типом движителей. Для транспортировки сортиментов по волокам 1-го и 2-го типов местности предпочтительно эксплуатировать колесные погрузочно-транспортные машины.

Литература

1. Жуков, А. В. Теория лесных машин / А. В. Жуков. – Минск: БГТУ, 2001. – 640 с.

2. Провоторов, Ю. И. Результаты испытаний тягово-сцепных качеств трехосного трактора / Ю. И. Провоторов, В. Н. Шитов, М.И. Бу-

тылочкин // Технология и комплексная механизация лесосечных работ: труды ЦНИИМЭ. – Химки 1976. – С. 90–96.