



Рисунок 5 – Осциллограммы колебаний:

а – резонансной назад бегущей цепи волн за время одного оборота;  
б – то же вперед бегущей (нижняя кривая – развертка профиля диска)

#### Библиографический список

1. Пашков В.К. Колебания и устойчивость дереворежущих круглых пил : В кн. Вибрация. Шум. Вибродиагностика : Матер. межгос. науч.-техн. семинара «Виброакустические процессы в технологиях, оборудовании и сооружениях лесопромышленного комплекса», 23-25 ноября 1999 г. / Урал. гос. лесотехн. акад. -Екатеринбург, 2000. – С. 56-63.
2. Кэмпбелл В. Аксиальная вибрация дисков паровых турбин и меры защиты от нее. – М.-Л.: ОНТИ, 1987. – 136 с.
3. Левин А.В. Рабочие лопатки и диски паровых турбин. – М.: Госэнергоиздат, 1953. – 624 с.
4. Об экспериментальных методах определения критических оборотов тонких дисков / В.К. Пашков, В.Г. Бодалев, Э.М. Туриков, А.И. Шевченко // Изв. ВУЗ. Лесной журнал. – 1973. – № 6. – С. 63-68.
5. Дунаева В.В., Дунаев В.Ф. Экспериментальный метод исследования колебаний дисковых пил // Изв. ВУЗ. Лесной журнал. – 1982. – № 2. –С. 99-103.

**Пищов С.Н., Гороновский А.Р. (БГТУ, г. Минск, РБ)**

[sergeypishov@mail.ru](mailto:sergeypishov@mail.ru)

## **ПОВЫШЕНИЕ ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ ФОРВАРДЕРОВ 6К6 С КОМБИНИРОВАННЫМ ТИПОМ ДВИЖИТЕЛЯ**

### *INCREASE OF ROADHOLD FORWARDERS 6 WD WITH THE COMBINED TYPE MOVER*

В настоящее время лесозаготовительные предприятия Республики Беларусь уделяют значительное внимание освоению труднодоступного лесосечного фонда, который расположен на заболоченной местности и почвогрунтах с низкой несущей способностью. В связи с наметившейся тенденцией перехода на технологии с применением колесных лесных машин, возникла необходимость повышения их тягово-сцепных свойств

и показателей проходимости при заготовке древесины на слабых грунтах. Одним из способов решения поставленной задачи является применение на лесозаготовках машин 6К6 и 8К8 с легкоъемными металлическими гусеницами на колесах балансирной тележки (комбинированный тип движителя) [1]. Однако до настоящего времени не разработано практических рекомендаций по необходимости применения колесного или комбинированного типов движителя при эксплуатации лесозаготовительной техники на почвогрунтах с различной несущей способностью.

Для обоснования параметров трансмиссии и ходовой части с целью повышения тягово-сцепных свойств проведены теоретические и экспериментальные исследования, которые позволили определить зависимости усилий сопротивления движению и касательных сил тяги от буксования для погрузочно-транспортных машин с колесным и комбинированным типами движителя во время движения по волокам с различными физико-механическими свойствами почвогрунтов. Исследования проводились для лесных машин отечественного и зарубежного производства.

Определение оптимальных режимов движения машины достигнуто с помощью построенных тяговых характеристик, на которых в зависимости от касательной силы тяги  $P_k$  представлены изменения скорости  $v$ , буксования  $\delta$  и тяговой мощности  $N_t$ . Данные показатели наиболее полно характеризуют тягово-сцепные свойства погрузочно-транспортных машин с колесным и комбинированным типами движителя, позволяют определить касательные силы тяги и соответствующие им буксования, при которых наблюдается наиболее полное использование мощности установленного двигателя [2]. На рис. 1 представлены тяговые характеристики погрузочно-транспортной машины МЛПТ-364 Минского тракторного завода с различным типом движителя при движении по волоку с низкой несущей способностью почвогрунта (0,03–0,06 МПа).

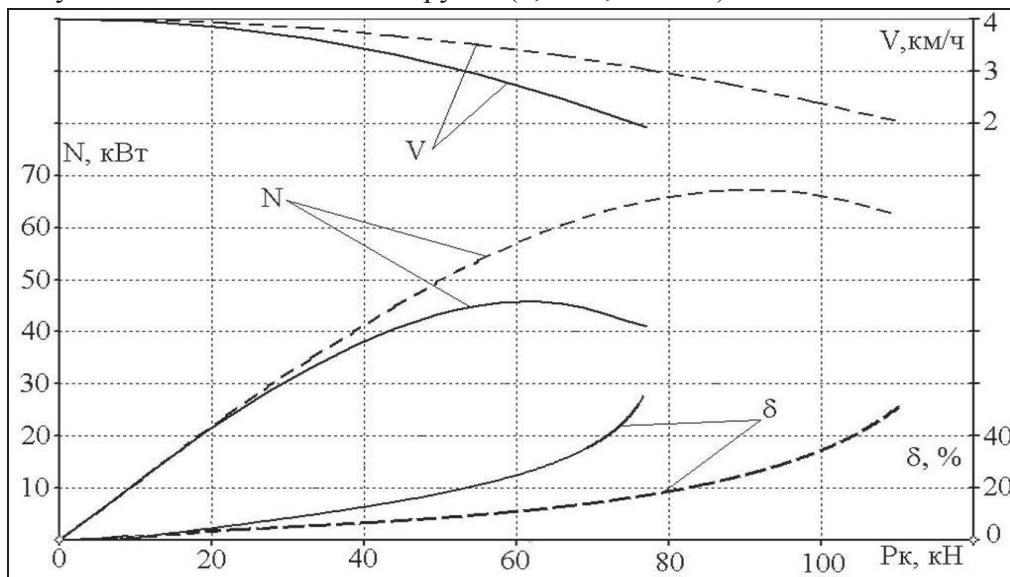


Рисунок 1 – Тяговая характеристика погрузочно-транспортной машины МЛПТ-364 при движении по волоку с низкой несущей способностью почвогрунта (— — колесный тип движителя; - - - - комбинированный тип движителя)

Путем нанесения на характеристику сил сопротивления движению и сцепления определена область возможного движения машины с различным типом движителя.

Анализ приведенных зависимостей (рис. 1) указывает, что при движении по заболоченному волоку с низкой несущей способностью почвогрунта колесная погрузочно-транспортная машина МЛПТ-364 развивает касательную силу тяги 64–67 кН. Буксование в данном случае находится в пределах 27–30%, скорость движения 2,5–2,7 км/ч. Данные показатели получены при тяговой мощности равной 47 кВт, которая 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 лесной машины. Эффективнее, в сравнении с колесной машиной, на данном волоке эксплуатировать форвардер с комбинированным типом движителя. Результаты исследований показывают, что для данной погрузочно-транспортной 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.

Для преодоления сил сопротивления движению колесный форвардер сможет двигаться со скоростью 3,2–3,3 км/ч при буксовании движителей 17–19%, движение погрузочно-транспортной машины с комбинированным 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 со слабой несущей способностью составила 20–22 кН, у лесной машины с комбинированным типом движителя данный показатель находится в пределах 35–37 кН.

Следовательно, для эффективного освоения труднодоступного лесосечного фонда на лесных машинах с колесным типом движителя целесообразно использовать легкоъемные металлические гусеницы, которые позволяют увеличить касательную силу тяги при снижении буксования и повышении скорости движения, что в результате приводит к росту производительности работ на транспортировке сортиментов.

Для определения тягово-сцепных свойств погрузочно-транспортной машины МЛПТ-364 с колесным и комбинированным типами движителя на волоках с высокими физико-механическими свойствами (несущая способность находится в пределах 0,07–0,2 МПа) построена тяговая характеристика, которая представлена на рис. 2.

Анализ зависимостей, отражающих процессы движения форвардеров с различными типами движителя по волокам с высокими физико-механическими свойствами (рис. 2), что колесная погрузочно-транспортная машина развивает максимальную тяговую мощность 72–74 кВт. При этом машина развивает касательную силу тяги 80–82 кН при скорости движения 3,1 км/ч. Буксование колес энергетического и технологического модулей составляет 22%. При движении по данному волоку лесной машины повышенной проходимости с комбинированным типом движителя максимальное значение тяговой мощности достигается при касательной силе тяги 98 кН. Абсолютное значение тяговой мощности увеличилось в 1,14 раза и составило 82,2 кВт. Повышение тяговой мощности объясняется снижением в 1,36 раза буксования и повышением скорости движения (на 12%). Согласно проведенным исследованиям по определению касательных сил тяги, на волоках с высокой несущей способностью форвардер с комбинированным типом движителя способен развивать тяговые усилия до 125–130 кН, однако вследствие ограниченной мощности установленного двигателя достижение максимальных сил тяги невозможно. Согласно теоретических и экспериментальных исследований силы

сопротивления движению на данных волокнах составили, соответственно для колесной погрузочно-транспортной машины 24,7–25,2 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 колесной машины составила 62–65 кН, для колесно-гусеничной – 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 составляют 3,9 и 3,5 км/ч, соответственно. Приведенные аргументы позволяют рекомендовать для освоения лесосечного фонда расположенного на грунтах с высокой несущей способностью погрузочно-транспортные машины с колесным типом движителя.

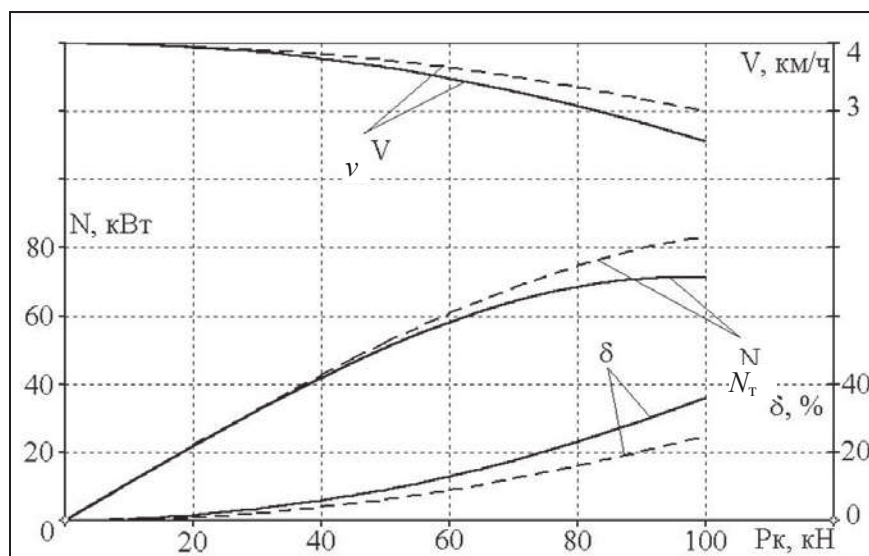


Рисунок 2 – Тяговая характеристика погрузочно-транспортной машины МЛПТ-364 при движении по волоку с высокой несущей способностью почвогрунта (— – колесный тип движителя; - - - – комбинированный тип движителя)

По результатам проведенных исследований установлено, что для эффективной эксплуатации погрузочно-транспортных машин с комбинированным типом движителя при освоении труднодоступного лесосечного фонда мощность установленного двигателя должна составлять 100–125 кВт, значение крутящего момента находиться в пределах 620–710 Нм. Для плавного регулирования развиваемых касательных сил тяги и скоростей движения рекомендуется применять гидродинамические и гидростатические передачи в составе трансмиссии.

В настоящее время Минским тракторным заводом освоен выпуск погрузочно-транспортных машин 6К6 с шарнирно-сочлененной рамой и гидромеханической трансмиссией МЛПТ-364. При проведении эксплуатационно-технологических испытаний данного форвардера во время освоения труднодоступного лесосечного фонда установлено, что производительность машины с комбинированным типом движителя в 1,2–1,4 раза выше, чем у колесной, что подтверждает выводы, полученные с помощью построенных тяговых характеристик.

1. Жуков, А.В. Теория лесных машин: учеб. пособие / А.В. Жуков. – Минск: БГТУ, 2001. – 640 с.
2. Тракторы: Теория: учеб. / В.В. Гуськов [и др.]; под общ. ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.

**Раевская Л.Т.**(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [raevskaya@usfeu.ru](mailto:raevskaya@usfeu.ru)

## **ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОРШНЯ ПНЕВМОМОТОРА**

### *HARMONIC ANALYSIS OF THE PNEUMOTOR PISTON*

Аксиально-поршневые реверсивные пневматические двигатели серии ДАР компактны, имеют малую массу и могут использоваться в качестве приводов в деревообрабатывающем оборудовании. Одной из важных деталей двигателей являются двусторонние поршни, прочностные свойства которых были исследованы ранее [1]. В процессе работы аксиально-поршневого пневматического двигателя поршень находится под воздействием периодически меняющегося давления, прилагаемого поочередно к торцам поршня. Давление создается сжатым воздухом, который по воздухораспределительным каналам шеек ротора и полублоков поступает в рабочие камеры цилиндров с поршнями. Периодически меняющаяся нагрузка будет приводить к появлению периодического (гармонического) отклика динамической системы. Исследование вынужденных колебаний динамической системы дает возможность предсказать поведение системы под действием вынуждающей силы. Знание поведения системы необходимо для изучения резонансных явлений в поршне. При приближении частоты вынуждающей силы к собственной частоте системы будет происходить раскачка колебаний, возрастание амплитуды, резкие изменения характеристик напряженно-деформированного состояния, что может приводить к разрушению системы. Цель настоящего расчета – определить резонансную частоту поршня, и изучить поведение системы вблизи резонанса.

В комплексе метода конечных элементов (МКЭ) ANSYS для расчета вынужденных колебаний предлагаются три метода: полный, редуцированный и метод наложения форм [2]. Полный метод использует для вычисления гармонического отклика модели систему полных матриц (матрицы могут быть симметричными и несимметричными). Редуцированный метод использует редуцированную матрицу и уменьшенное число степеней свободы, но после вычислений это число расширяется до исходного набора управляющих степеней свободы. Метод наложения форм суммирует собственные векторы, полученные при расчете собственных колебаний, для вычисления отклика модели. В данной работе применялся полный метод, как наиболее простой, а система уравнений решалась методом расчета разреженных матриц, что предпочтительно для прочностных задач сравнительно больших моделей. Амплитуда вынуждающей силы определялась из условия нагружения и была равна  $F = 2640$  Н. Данная сила приводилась к