

УДК 630*377

В.А. Коробкин, гл. конструктор ОКБ МТЗ; А.В. Жуков, зав. кафедрой ЛМиТЛЗ;
В.В. Хайновский, аспирант

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПОГРУЗОЧНО- ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ МПТ-461

Simulation of process of motion and outcomes of manufacturing – pre-delivery tests of a scooptram MPT-461.

На МТЗ создана прицепная погрузочно-транспортная машина МПТ-461, включающая лесохозяйственный вариант трактора МТЗ-82 и двухосную тележку с гидроманипулятором и грузовой платформой для транспортировки сортиментов длиной 2, 4 и 6 м, активным приводом колес, аутригерами и гидроуправляемым дьшлом (рис. 1).

В настоящее время погрузочно-транспортная машина МПТ-461 проходит производственно-технологические испытания в Старобинском лесхозе.



Рис. 1. Прицепная погрузочно-транспортная машина МПТ-461

Во время проведения эксплуатационно-технологических испытаний заготовка древесины осуществлялась на делянке площадью 2 га. Состав лесонасаждений – 901Б. Лесной почвогрунт – торф заболоченный. Технология заготовки: валка с обрезкой сучьев – бензопила «Хускварна», трелевка – трактор «Беларус» МТЗ-82 с оригинальной чокерной оснасткой (среднее расстояние трелевки – 200 м), раскряжевка на погрузочной площадке – бензопила «Хускварна». Раскряжевка производилась на сортименты двух типоразмеров: 3 м и 3,75 м. Сортименты длиной 3 м вывозились на самопогружающихся автопоездах «Урал». Расстояние вывозки – 50 км и больше. Сортименты длиной 3,75 м вывозились погрузочно-транспортной машиной МПТ-461 на нижний склад. При этом погрузка осуществлялась на погрузочном пункте. Расстояние вывозки составляло 13 км, из которых 300 м – по лесовозному усу, 400 м – по лесовозной дороге, а остальное – по дороге общего пользования с асфальтобетонным покрытием. Средняя скорость движения порожней машины по дороге общего пользования составила

32 км/ч, по лесовозной дороге – 7,73 км/ч, по лесовозному усу – 5,84 км/ч. Средняя скорость движения машины с грузом составила: по дороге общего пользования – 26,45 км/ч, по лесовозной дороге – 5,67 км/ч, по лесовозному усу – 4,42 км/ч. При этом во время движения по труднопроходимому участку лесовозного уса в особых случаях включался активный привод колес прицепной тележки. Скорость движения груженой машины в этом случае составила: по лесовозному усу – 4 км/ч, по лесовозной дороге – 4,97 км/ч.

Среднее время погрузки 1 м^3 сортиментов составило 8,57 мин, время выгрузки 1 м^3 – 5,31 мин. Средний объем одного сортимента – $0,14 \text{ м}^3$. Средний объем перевозимых сортиментов составил $5,25 \text{ м}^3$, при допускаемой грузоподъемности 7 т.

Подобные прицепные тележки, агрегируемые в основном с различными модификациями трактора МТЗ, выпускаются и другими производителями РБ. Так, ОАО «Амкодор» выпускает подъемно-транспортный агрегат «Амкодор 2651», включающий двухосную пассивную тележку с гидроманипулятором и грузовой платформой, ПО «Бобруйскагромаш» производит полуприцепы лесотранспортные ПЛ-7 и ПЛ-11 грузоподъемностью 7 и 11 т соответственно. Совместное Белорусско-латвийское предприятие «Тигер» комплектует погрузочно-транспортную машину МТПЛ-5-11, на двухосной пассивной тележке которой смонтирована грузовая платформа, гидроманипулятор и аутригеры.

Основным недостатком вышеперечисленных лесотранспортных средств является их недостаточная проходимость. У прицепного форвардера Nokka 104 WD финского производства (рис. 2) осуществлен активный гидравлический привод колес тележки, при включении которого начинают работать гидромоторы и ведущие ролики прижимаются к поверхности колес со специальными протекторами. Как показывает практика эксплуатации, наличие активного дополнительного привода существенно повышает эффективность использования прицепной погрузочно-транспортной машины. Машина МПТ-461 имеет активный привод на колеса прицепной тележки, конструктивно выполненный следующим образом: мощность на привод осей прицепной тележки передается через вал отбора мощности, систему карданных валов, главную передачу моста прицепа и дифференциал на приводные ролики, имеющие по наружному контуру вид беличьего колеса (рис. 3).

Привод колес прицепной тележки, установленных на балансирных тележках, осуществляется путем их прижатия гидравлическими цилиндрами к приводному ролику. Таким образом, осуществляется передача мощности от приводного ролика непосредственно к колесам прицепа. Для повышения проходимости МПТ-461 при движении прицепа в активном режиме предусмотрена фрикционная блокировочная муфта дифференциала, которая блокирует между собой одну из полуосевых шестерен дифференциала с его корпусом.

Однако в технической литературе отсутствуют конкретные данные о влиянии параметров привода осей на тягово-сцепные свойства и проходимость. Представляет интерес оценка эффективности применения активного привода на оси прицепного форвардера, его тягово-скоростных свойств и проходимости, обоснование скоростных режимов и грузоподъемности с учетом условий эксплуатации.

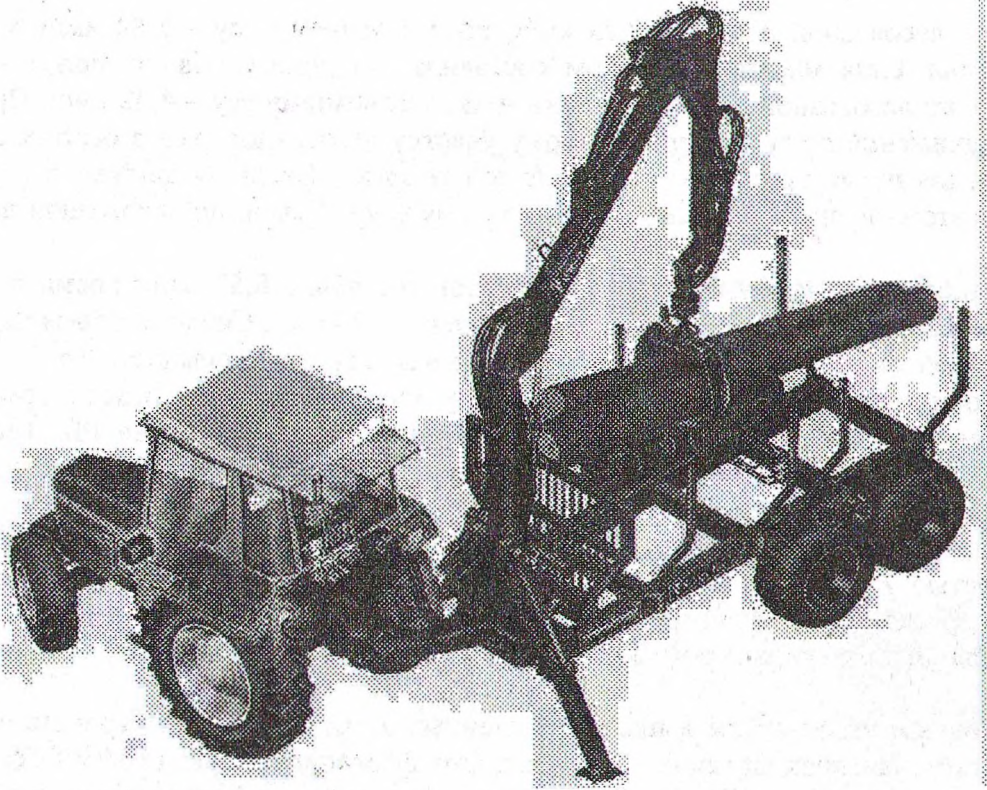


Рис. 2. Прицепная погрузочно-транспортная машина Nokka 104 WD

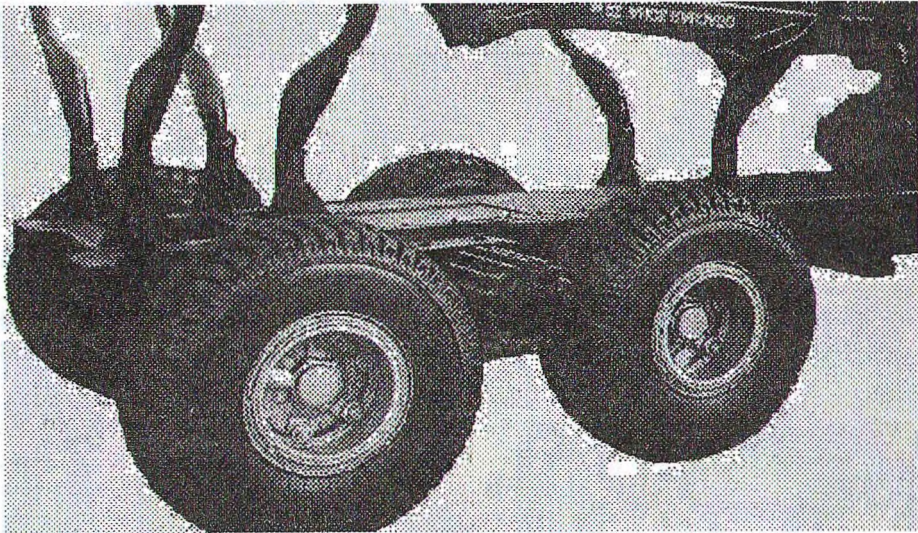


Рис. 3. Активный дополнительный привод машины МПТ-461

Для этой цели рассмотрим основное уравнение тракторного поезда в виде [1]

$$\left(G_M + I_M \left(\frac{i_{TP}}{r_K} \right)^2 \eta_T + \sum_n \frac{I_K}{r_K^2} \right) \cdot \frac{dv}{dt} \pm \frac{P_{Ky}}{G_M} + f \cdot \cos(\alpha) \pm \sin(\alpha) = 0;$$

После преобразования будем иметь

$$\frac{\delta_M}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \pm \frac{P_{\text{кy}}}{G_M} + \psi = 0; \quad (1)$$

где $\delta_M = 1 + \frac{I_M}{M} \left(\frac{i_{\text{тр}}}{r_K} \right)^2 \eta_T + \sum \frac{I_K}{M r_K^2}$ – коэффициент учета вращающихся масс машины;

$\frac{dv}{dt}$ – ускорение машины; $P_{\text{кy}}$ – Касательная сила тяги на ведущих колесах при установленном режиме работы двигателя; G_M – вес тракторного поезда; M – масса тракторного поезда; I_M – момент инерции маховика и связанных с ним элементов трансмиссии; $i_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии; η_T – КПД трансмиссии; I_K – момент инерции колеса; r_K – динамический радиус колеса; $\psi = f \cdot \cos(\alpha) \pm \sin(\alpha)$ – коэффициент суммарного сопротивления дороги; f – коэффициент сопротивления качению; α – уклон дороги.

Так как скорость движения такой машины не превышает 35 км/ч, сила сопротивления воздушной среды не учитывается.

Второй член уравнения (1) представляет собой удельную избыточную силу тяги прицепной машины, т.е. силу тяги, которую можно использовать для преодоления тяжелых участков лесосеки или для ускорения движения. В теории автомобилей и автопоездов эта величина называется динамическим фактором [1]. Поскольку для рассматриваемого тракторного поезда оцениваются, кроме прочего, тягово-скоростные качества, воспользуемся тем же термином.

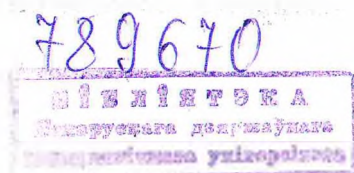
В эксплуатационных условиях прицепная погрузочно-транспортная машина работает главным образом в ведущем режиме. В этом случае перед вторым членом уравнения (1) будет стоять знак «минус». При движении машины с постоянной скоростью (установившееся движение) первый член этого уравнения становится равным нулю.

Значения динамического фактора, получаемые из уравнения, не всегда могут быть реализованы из-за буксования ведущих колес, особенно при транспортировке пачки сортиментов по дороге с малым значением коэффициента сцепления ϕ . Максимальную тяговую силу на ведущих колесах, ограничиваемую их буксованием, определяем из выражения

$$P_K^{\text{max}} = R_{\text{вед}} \cdot \phi.$$

Изложенная методика позволяет моделировать процесс движения погрузочно-транспортной машины, в котором учтены: различные коэффициенты суммарного сопротивления опорной поверхности, различные коэффициенты сцепления, скорость движения машины и объем перевозимых сортиментов, характеристика двигателя и параметры трансмиссии.

Для оценки тяговых качеств тракторов часто применяется другая методика, изложенная в [2], однако она используется при допущениях, что коэффициент сопротивления движению сохраняет неизменное значение при всех режимах работы и что трактор движется по горизонтальному участку при установившихся режимах работы. А выше-



изложенная методика позволяет моделировать процесс движения на переходных режимах и динамически изменить коэффициент сопротивления движению.

По результатам теоретических исследований наиболее показательны сравнить возможности движения данной машины и ее аналогов, не имеющих активного привода колес прицепной тележки.

На графиках рис. 4 представлены зависимости минимального коэффициента сцепления, при котором возможно движение машины без пробуксовки ведущих колес, от коэффициента суммарного сопротивления дороги. Зависимости получены для различных дорожных условий, характеризуемых данными табл.

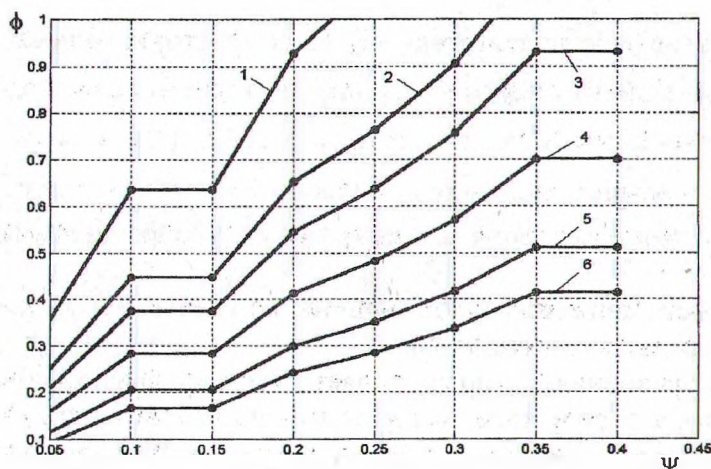


Рис. 4. Зависимости значений коэффициента сцепления от коэффициента суммарного сопротивления дороги для грузовой (1, 2, 3) и порожней (4, 5, 6) машины: 1, 4 – привод задних колес трактора; 2, 5 – привод всех колес трактора; 3, 6 – полный привод колес трактора и тележки

Таблица

Коэффициенты сцепления и сопротивления движению для различных типов дороги

Тип дороги	Сопротивления движению f	Сцепления ψ
Грунтовая сухая	0,025...0,035	0,5...0,6
Грунтовая после дождя	0,05...0,15	0,2...0,4
Грунтовая в распутицу	0,15...0,3	0,15...0,3
Песчаная сухая	0,1...0,3	0,2...0,3
Песчаная мокрая	0,06...0,15	0,4...0,5
Снежная	0,1...0,3	0,1...0,35
Лесосека	0,25...0,35	0,25...0,35

Полученные зависимости имеют ступенчатый характер, т.к. моделирование производилось с учетом движения прицепного форвардера на различных передачах. Для наглядности будем считать, что прицепной форвардер движется по дороге без уклона, в этом случае по оси абсцисс располагаются коэффициенты сопротивления движению. Кривыми графиков ограничены коэффициенты сцепления дороги, по которой еще возможно движение прицепного форвардера без пробуксовки ведущих колес.

Из представленных зависимостей видно, что для движения прицепного форвардера, имеющего только заднюю ведущую ось трактора, необходима дорога с более высо-

ким коэффициентом сцепления, а прицепной форвардер с полным приводом осей способен двигаться по дороге с более низким значением коэффициента сцепления. Это означает, что полный привод осей прицепного форвардера дает возможность работать в худших дорожных условиях, какие чаще всего и встречаются на лесосеке. При сравнении полученных зависимостей для порожней машины с данными табл. видим, что прицепной форвардер без дополнительного привода колес тележки чаще всего способен двигаться в имеющихся на лесосеке дорожных условиях. В то же время полностью груженный прицепной форвардер без дополнительного привода осей тележки не может преодолеть многие труднопроходимые участки, встречающиеся при эксплуатации. Так, полностью груженный прицепной форвардер на грунтовой дороге после дождя (что соответствует коэффициенту сопротивления качению 0,15), имея только привод всех колес трактора, не способен двигаться, так как коэффициент сцепления на такой дороге не превышает 0,4, а тот же форвардер с дополнительным приводом колес тележки свободно преодолеет такой участок (кривая, соответствующая этому случаю, расположена ниже данной точки).

На рис. 5 приведен график скорости движения погрузочно-транспортной машины при отсутствии буксования ведущих колес и необходимом коэффициенте сцепления.

В данном случае также имеет место ступенчатый характер кривой. Это связано с тем, что при увеличении сопротивления движению для предотвращения буксования ведущих колес и остановки двигателя оператору необходимо переключаться на низшие передачи. При этом скорость движения уменьшается. Жирными точками на графике обозначены экспериментальные данные, полученные в результате эксплуатационных испытаний. Сравнение теоретических и опытных скоростей движения машины показывает их хорошее согласование, за исключением последнего экспериментального значения. Это расхождение связано с тем, что в процессе движения в наихудших дорожных условиях оператор погрузочно-транспортной машины переключался на низшую передачу, тогда как теоретически машина могла двигаться и на высшей передаче.

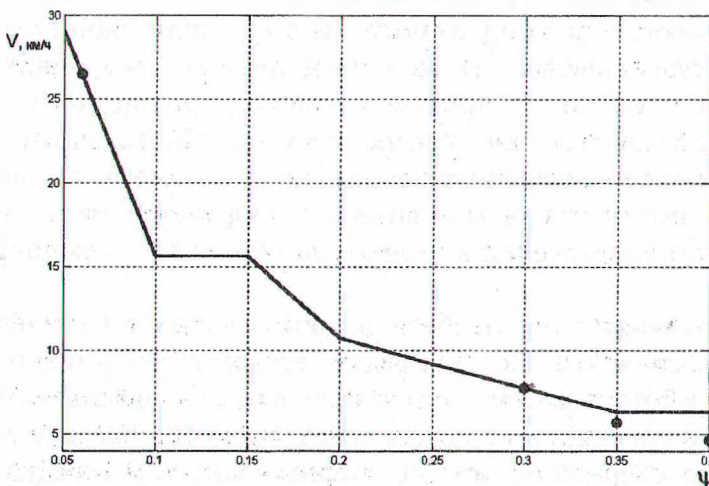


Рис. 5. График скорости движения погрузочно-транспортной машины при отсутствии буксования ведущих колес и необходимом коэффициенте сцепления

Из всего вышесказанного следует, что погрузочно-транспортная машина МПТ-461 может эксплуатироваться в неблагоприятных дорожных условиях (в период весен-

не-осенней распутицы, при заболоченности лесосеки), а ее аналоги без активного привода колес тележки имеют существенные ограничения, сужающие сферу их использования с учетом разнообразных условий движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закин Я.Х. Прикладная теория движения автопоезда. – М: Транспорт, 1967.
2. Гуськов В.В. Тракторы. Часть II. Теория. – Мн.: Вышэйш. школа, 1977.

УДК 630*377.4

А.В. Жуков, профессор; В.Н. Лой, ассистент

ОЦЕНКА НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМОВ ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА ПРИ ПОДТАСКИВАНИИ ПАЧКИ ДЕРЕВЬЕВ

The estimation of loading modes a skidder at movement of a pack of trees.

В настоящее время на Минском тракторном заводе продолжают развертываться работы по созданию и освоению производства лесных колесных машин [1, 2, 3]. Наиболее перспективными являются машины МЛПТ-345, МЛ-131, МЛ-126, МЛ-127 и МЛ-127С на базе шарнирно-сочлененных шасси типа 4К4 и 6К6.

Трелевочный трактор МЛ-126 (МЛ-127) оснащен тросочокерным трелевочным оборудованием, включающим лебедку с максимальным усилием на тросе 41 кН и арку, совмещенную с упорным щитом.

Имеются исследования по оценке нагруженности трансмиссии и ходовой части трелевочных машин [4, 5], учитывающие особенности их конструкции и условия движения. В работах [6, 7] рассматривается двигатель как источник заданной ограниченной мощности, а в некоторых исследованиях [8, 9, 10] дается оценка влияния на нагруженность машины параметров технологического оборудования. Однако большинство указанных исследований касается установившегося движения трактора, а такие режимы, как трогание с места и разгон, рассмотрены в недостаточной степени. В специальной научной литературе приведено также мало данных по нагруженности технологического оборудования и шасси машины при выполнении операций технологического процесса, связанных с формированием пачки деревьев. Приведенные в работе [8] материалы по динамической нагруженности трособлочной системы трелевочного трактора получены путем эксперимента, а методических разработок расчетно-теоретического характера в указанном направлении в научной литературе, за исключением единичных работ, не имеется.

С целью восполнения этого пробела, а также оценки динамической нагруженности трелевочного трактора МЛ-126 на кафедре лесных машин и технологии лесозаготовок БГТУ была разработана математическая модель, позволяющая осуществлять процесс подтаскивания и погрузки на щит пачки деревьев колесной трелевочной машиной, оборудованной тросочокерной оснасткой, упорным щитом и лебедкой. Модель реализована на ЭВМ с помощью прикладного пакета Matlab, что позволило провести всесторонние исследования динамической системы.

Расчетная схема системы "трактор – двигатель – технологическое оборудование – пачка" приведена на рис. 1.