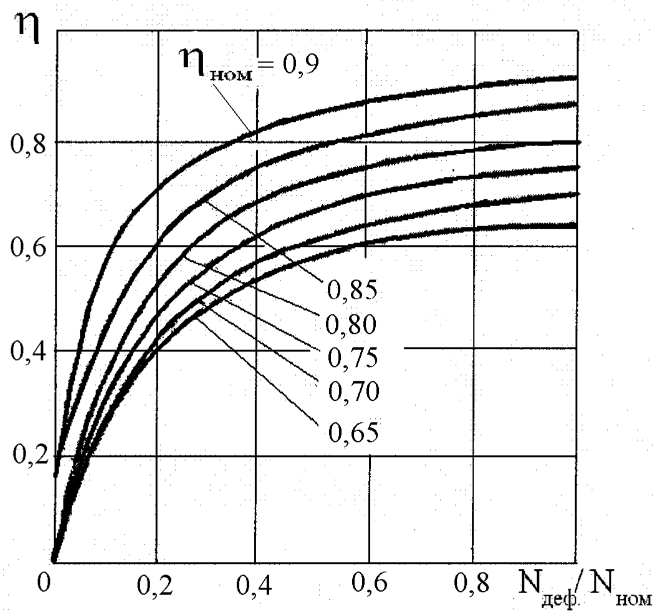

Рис. 6. Зависимость КПД от относительной мощности, затрачиваемой на формирование опорной поверхности движения.

Таким образом, совмещенное конструктивное исполнение движителя перекатывающегося типа с индивидуальным электромеханическим приводом опорно-приводного устройства позволяет получить высокие показатели как опорно-временных качеств, так и тягово-сцепных свойств движителя такого варианта исполнения на лесосечных машинах.

Применение пружинной подвески совместно с плавающим опорно-приводным устройством КПТ позволяет получить, с одной стороны, большой ход колеса при наезде на препятствия (пни, порубочные остатки и др.), а с другой стороны, снизить величину ускорений и амплитуду колебаний корпуса ТС, обеспечивая комфортную работу оператора.

Литература

1. Сергеев А.И., Шарипов В.М. Транспортное средство. Патент РФ № 2245259. Опубл. 27.01.2005. Бюл. № 3.
2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Наука, 1968. – 479 с.

Анализ влияния инерционности на среднюю скорость движения гусеничной машины

к.т.н., доц. Стрелков А. Г., Ильичев А. С.
МГТУ «МАМИ», НПП «Технопрактика»)

Гусеничные машины (ГМ) в основном предназначены для движения по грунтовым дорогам, когда траектория движения определена, и по бездорожью, когда траекторию намечает механик-водитель. В обоих случаях движение осуществляется по известной траектории и действия механика-водителя направлены на согласование возможностей машины с внешними условиями движения, то есть осуществляется управление движением машины. Движение является управляемым, если механик-водитель может в любой момент времени изменить режим движения в нужном ему направлении. Управляемое движение определяется внешними условиями и параметрами ГМ.

Известно [1], что дифференциальное уравнение управляемого движения ГМ имеет вид:

$$(m_T + J_{ZC}k^2(s))\ddot{s} + J_{ZC}k(s)\frac{\partial k(s)}{\partial s}v^2 = (P_1 + P_2) + (M_П + M_C - M_r)k(s) - X - (R_1 + R_2), \qquad (1)$$

где: m_T – масса ГМ;

J_{zc} – момент инерции ГМ относительно вертикальной оси, проходящей через центр масс машины;

k(s) – кривизна траектории;

s – путь, пройденный ГМ;

V – скорость движения ГМ;

P_1 и P_2 – силы тяги на отстающей и забегающей гусеницах;

R_1 и R_2 – силы сопротивления поступательному движению ГМ на отстающей и забегающей гусеницах;

X – продольная составляющая веса машины при ее движении по наклонной поверхности;

$M_п$ – поворачивающий момент;

$M_с$ – момент сопротивления повороту;

M_r – момент от сил R_1 и R_2.

ГМ, движущаяся по определенной траектории, представляет собой инерционную систему. Исследование ГМ, как динамической системы, с учетом ее инерционных свойств, вызывает определенные трудности. Возникает вопрос: нельзя ли при исследовании управляемого движения ГМ пренебречь ее инерционностью? Если да, то, при каких условиях?

Проанализируем выражение (1). В левую часть уравнения входят параметры, характеризующие инерционные свойства ГМ, в правую — силы и моменты, действующие на ГМ. Большинство сил и моментов, вошедших в уравнение, зависят от скорости движения: силы тяги на отстающей и забегающей гусеницах P_1 и P_2 уменьшаются с ростом скорости, при всех прочих равных условиях поворота зависят от скорости; момент сопротивления повороту и поворачивающий момент, силы сопротивления грунта на отстающей и забегающей гусеницах R_1 и R_2 увеличиваются с ростом скорости. Следовательно, необходимо исследовать влияние инерционности ГМ на ее среднюю скорость движения.

Как известно, инерционные свойства не позволяют мгновенно увеличивать скорость после исчезновения ограничений скорости и мгновенно снижать ее в момент их появления. Как отразится на значении средней скорости движения пренебрежение инерционностью ГМ?

Для того чтобы ответить на эти вопросы, проведем анализ инерционной и безынерционной моделей движения ГМ. В связи с тем, что в уравнение (1) входят ограничения только по тяговым свойствам, рассмотрим наиболее простое, прямолинейное движение ГМ.

Уравнение прямолинейного движения ГМ с учетом инерционности получим из уравнения (1), приравняв кривизну траектории к нулю: $k(s) = 0$. Тогда уравнение (1) принимает вид:

$$m_T \ddot{s} = (P_1 + P_2) - X - (R_1 + R_2), \qquad (2)$$

где: $P_1+P_2=P$ – сила тяги по двигателю;

$R_1+R_2+X=R$ – суммарная сила сопротивления движению.

С учетом этого получим уравнение прямолинейного движения ГМ:

$$m_T s = P - R. \qquad (3)$$

Разделив правую и левую части уравнения (3) на m_T, получим:

$$s = g\left(f_д - f_с\right), \qquad (4)$$

где: g – ускорение свободного падения;

$f_д$ – удельная сила тяги;

$f_с$ – суммарный коэффициент сопротивления движению.

В дальнейшем примем, что суммарный коэффициент сопротивления движению изменяется по закону:

$$f_с = f_{со} + A \sin\left(2\pi x / a\right), \qquad (5)$$

где $f_{со}$ – постоянная составляющая суммарного коэффициента сопротивления движению;

A – амплитуда изменения суммарного коэффициента сопротивления движению;

x – координата движения центра масс ГМ, отсчитываемая вдоль траектории движения от неподвижной точки плоскости движения;

a – длина волны изменения суммарного коэффициента сопротивления движению.

Рассмотрим безынерционную модель движения ГМ. Если принять равными нулю инерционные параметры ГМ, то есть J_z =0, m_T =0, то уравнение (3) можно записать в виде:

$$P - R = 0 \qquad (6)$$

или

$$f_{д} = f_{с}. \qquad (7)$$

Полученное равенство представляет собой условие прямолинейного движения ГМ для безынерционной модели.

Ниже приведены расчеты средней скорости движения $V_{ср}$, дисперсии Dt и среднеквадратического отклонения st скорости на примере об. 688.

Сравним средние скорости движения ГМ, рассчитанные с учетом и без учета инерционности (табл. 1). Из представленных результатов расчетов видно, что скорости имеют незначительные различия. В то же время дисперсии и, соответственно, среднеквадратические отклонения различаются более существенно. Эти различия уменьшаются с увеличением длины волны. Дисперсия средней скорости без учета инерционности выше дисперсии $V_{ср}$ с учетом инерционности вследствие того, что инерционные свойства ГМ сглаживают мгновенные значения скорости. Поэтому можно сделать вывод о том, что инерционные свойства ГМ оказывают незначительное влияние на среднюю скорость, но при их учете мгновенные значения скорости движения при изменении внешних возмущающих воздействий изменяются в меньшем диапазоне. То есть инерционные свойства уменьшают разброс скорости движения.

Таблица 1

Результаты расчетов $V_{ср}$, D_t, s_t (fc=fo+A.sin(2πx/*a*)).

амплитуда A	длина волны *a*,м	ср.скорость $V_{ср}$, м/с		дисперсия D_t		ср.квадрат.откл. s_t	
		безын.	инер.	безын.	инер.	безын.	инер.
0,1	800	8.848	8.765	21.880	14.370	4.678	3.791
	1000	8.850	8.838	21.900	16.449	4.680	4.056
	1200	8.848	8.875	21.861	17.893	4.676	4.230
	1400	8.849	8.911	21.879	19.367	4.678	4.401
	1600	8.847	8.938	21.877	20.539	4.677	4.532
	1800	8.850	8.929	21.889	20.929	4.679	4.575
	2000	8.848	8.923	21.875	21.189	4.677	4.603

Пренебрежение инерционностью позволяет осуществлять расчет $V_{ср}$ с достаточной для инженерной практики точностью, существенно упрощая при этом математическую модель движения. Таким образом, можно принять допущение о том, что средняя скорость ГМ определяется техническими характеристиками машины и дорожными условиями и не зависит от характера изменения дорожных условий по пути и по времени.

Проанализируем влияние амплитуды А на вероятностные характеристики средней скорости: дисперсию и среднеквадратическое отклонение (табл. 2). Увеличение амплитуды в два раза (с 0,05 до 0,1) приводит к увеличению среднеквадратического отклонения скорости, рассчитанного без учета инерционности, в 1,83 – 1,85 раза. Среднеквадратические отклонения, рассчитанные с учетом инерционности для длин волн до 1200 м, увеличились в 1,65 – 1,75 раза, а для длин волн свыше 1300 м – в 1,8 – 1,9 раза.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о соблюдении с некоторой погрешностью для длин волн суммарного коэффициента сопротивления движению свыше 1300 м свойства пропорциональности.

Результаты расчетов, приведенные в табл. 1 и 2, получены при изменении суммарного коэффициента сопротивления движению по гармоническому закону и описываемому уравнением (5). Однако суммарный коэффициент сопротивления движению может изменяться и по более сложному закону. Например:

$$f_c = f_{co} + A_1 \sin\left(\frac{2\pi x}{a_1}\right) + A_2 \sin\left(\frac{2\pi x}{a_2}\right). \qquad (8)$$

Анализируя результаты расчетов дисперсий D_{t1} и D_{t2} для амплитуд 0,05 и 0,1, рассчитанных при изменении суммарного коэффициента сопротивления движению по закону (5), и

Dt, рассчитанных по закону (8) (табл.3), можно отметить, что дисперсии Dt приблизительно равны сумме дисперсий Dt_1, Dt_2:

$$D_{t2}+D_{t3}=D_t. \qquad (9)$$

Таблица 2

Результаты расчетов V_{cp}, D_t, s_t (fc=fo+A.sin(2πx/*a*)).

длина волны	vcp				st			
	инерцион.		безынер.		инерцин.		безынер.	
	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1
1000	8.817	8.765	8.792	8.848	2.239	3.791	2.542	4.678
1100	8.745	8.838	8.792	8.850	2.348	4.056	2.541	4.680
1200	8.720	8.875	8.794	8.848	2.399	4.230	2.542	4.676
1400	8.710	8.911	8.793	8.849	2.432	4.401	2.541	4.678
1600	8.708	8.938	8.793	8.847	2.456	4.532	2.541	4.677
1800	8.705	8.929	8.792	8.850	2.474	4.575	2.541	4.679
2000	8.706	8.923	8.793	8.848	2.493	4.603	2.541	4.677

Однако данный вывод справедлив не во всем диапазоне длин волн. При длинах волн a_1 = 1000 м и a_2 = 800 м погрешность составляет около 10%. Однако с ростом длины волны погрешность уменьшается и при длинах более a_1 = 1200 м и a_2 = 960 м составляет менее 5%, что позволяет сделать вывод о выполнении в данных условиях принципа суперпозиции.

Таблица 3

Результаты расчетов D_t, D_{t1}, D_{t2} (с учетом инерционности).

A_1=0,1 a_1, м	A_2=0,05 a_2, м	D_t (a_1,A_1+a_2,A_2)	D_{t1} (a_1,A_1=0.1)	D_{t2} (a_2, A_2=0,05)	$D_{t1}+D_{t2}$
800.0	640.0	22.5702	14.3701	4.5250	18.8951
1000.0	800.0	24.3402	16.4490	5.0146	21.4637
1200.0	960.0	25.0093	17.8933	5.4435	23.3368
1400.0	1120.0	25.3812	19.3672	5.6883	25.0555
1600.0	1280.0	25.5651	20.5399	5.8230	26.3629
1800.0	1440.0	25.6795	20.9297	5.9417	26.8714
2000.0	1600.0	25.7323	21.1898	6.0337	27.2235

Выводы

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- инерционные свойства ГМ оказывают незначительное влияние на среднюю скорость движения, что позволяет пренебречь инерционностью при расчете V_{cp} и тем самым существенно упростить определение средней скорости;
- инерционность сказывается на разбросе скорости: в случае ее учета разброс уменьшается, без учета – увеличивается;
- современные ГМ как динамические системы по своей реакции на периодическое внешнее возмущение с длиной волны *a* более 1200 м при решении практических вопросов с достаточной точностью обладают свойствами пропорциональности и суперпозиции и могут рассматриваться как квазилинейные.

Литература

1. Савочкин В.А., Дмитриев А.А. Статистическая динамика транспортных и тяговых машин. - М.: Машиностроение, 1990. - 320 с.
2. Тракторы: Теория: Учебник / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.А. Атаманов и др.; Под общ. ред. В.В. Гуськова. - М.: Машиностроение, 1988. - 376 с.