

УДК 623.437.422

ВЛИЯНИЕ АКТИВНОГО ПРИВОДА ПРИЦЕПА НА ПРОХОДИМОСТЬ ТЯГАЧА

INFLUENCE OF THE TRAILER'S ACTIVE DRIVE ON THE PASSABILITY OF THE TRACTOR

Казловский С. В., Юдчиц К. В., Куликов Г. Ю., студ.,

Галямов П. М., канд. техн. наук, доц.,

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

S. Kazlovsky, K. Yudchits, G. Kulikov, stud.,

P. Galyamov, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

В данной работе мы рассмотрели влияние активного механического привода прицепа на проходимость всего состава на примере трактора МТЗ 82 и полуприцепа полной массой 9 тонн.

In this paper, we examined the effect of an active mechanical trailer drive on the patency of the entire train using the MTZ 82 tractor and a semi-trailer with a gross weight of 9 tons as an example.

Ключевые слова: *тягач, трактор, полуприцеп, привод, момент.*

Keywords: *tractor, tractor, semi-trailer, drive, moment.*

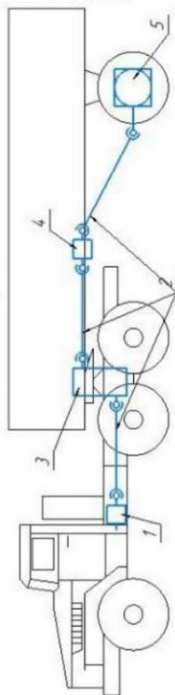
ВВЕДЕНИЕ

Существует 3 наиболее распространенных способа передачи вращения на полуприцеп (рис. 1):

1. Вал отбора мощности.
2. Гидравлический привод.
3. Электропривод.

В данной работе мы рассмотрели влияние активного механического привода прицепа на проходимость всего состава на примере трактора МТЗ 82 и полуприцепа полной массой 9 тонн (рис. 2).

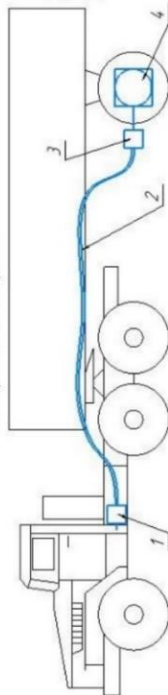
1. Механический привод



1. КМД,
2. Кадапанные передачи;
3. Редукторы,
4. Промежуточная опора;
5. Дифференциал с ПП.

Преимущества	Недостатки
1. Высокая надежность	1. Шумность при больших оборотах
2. Высокий КПД	2. Большое количество деталей, узлов и агрегатов
3. Высокая жесткость конструкции при работе по неровной и рыхлой поверхности	3. Сложность конструкции при работе по неровной и рыхлой поверхности
4. Простота обслуживания	

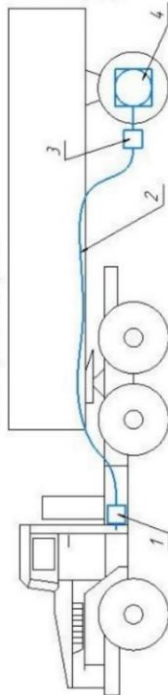
2. Гидравлический привод



1. Гидронасос.
2. Гидропровод.
3. Гидромотор.
4. Дифференциал с ПП.

Преимущества	Недостатки
1. Большая надежность при работе по неровной и рыхлой поверхности	1. Небольшая зоркость при работе по неровной и рыхлой поверхности
2. Простота конструкции	2. Шумность при работе по неровной и рыхлой поверхности
3. Простота управления и обслуживания	3. Пониженная производительность
4. Высокая жесткость конструкции при работе по неровной и рыхлой поверхности	4. Небольшая жесткость конструкции при работе по неровной и рыхлой поверхности
	5. Низкий КПД
	6. Зависимость от нагрузки при работе по неровной и рыхлой поверхности
	7. Высокая стоимость при работе по неровной и рыхлой поверхности

3. Электрический привод



1. Генератор.
2. Электродвигатель.
3. Электродвигатель.
4. Дифференциал с ПП.

Преимущества	Недостатки
1. Высокая жесткость конструкции при работе по неровной и рыхлой поверхности	1. Сложность при работе по неровной и рыхлой поверхности
2. Высокая надежность при работе по неровной и рыхлой поверхности	2. Высокая стоимость
3. Простота управления и обслуживания при работе по неровной и рыхлой поверхности	3. Сложность при работе по неровной и рыхлой поверхности
4. Низкая стоимость при работе по неровной и рыхлой поверхности	4. Высокая стоимость при работе по неровной и рыхлой поверхности

Рисунок 1 – Типы приводов

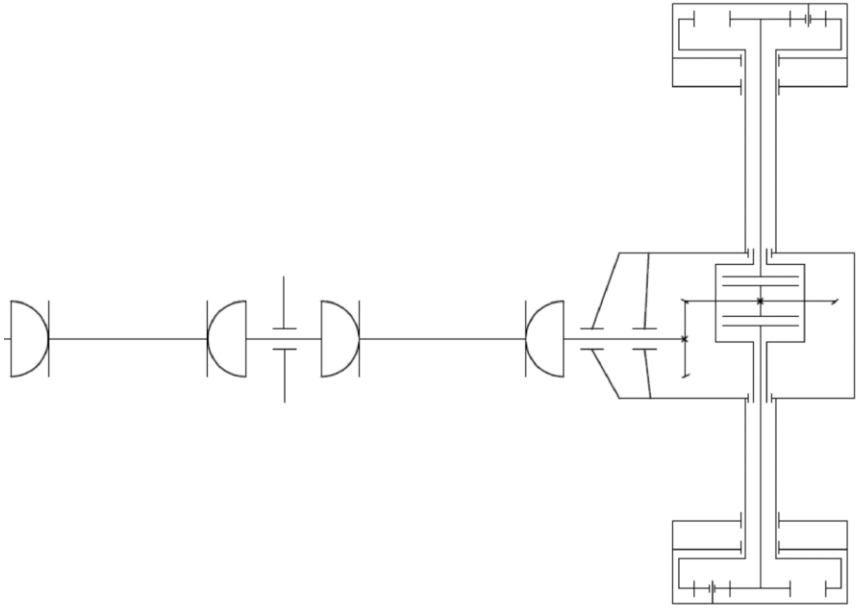


Рисунок 2 – Кинематическая схема активного полуприцепа

КПД ПРИВОДА ПОЛУПРИЦЕПА.

$$\eta = \eta_{\text{кардана}}^2 \cdot \eta_{\text{подшипника}}^4 \cdot \eta_{\text{конической}} \cdot \eta_{\text{муфты}} \cdot \eta_{\text{планетарной}} = 0,99^2 \cdot 0,995^4 \cdot 0,95 \cdot 0,98 \cdot 0,96 = 0,85 \quad (1)$$

МОЩНОСТНОЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКТИВНОГО ПОЛУПРИЦЕПА

Сила необходимая для преодоления максимального дорожного сопротивления:

$$F_k \geq F_\Psi = G_a \cdot \Psi \cdot V_{\text{тр}} \quad (2)$$

Сила, реализуемая ведущими колесами без буксования:

$$F_k \leq F_\phi = G_\phi \cdot \phi \quad (3)$$

где G_{ϕ} – сцепной вес тягача для МТЗ 82 без включенного привода прицепа:

$$G_{\phi} = (m_{\text{тр}} + m_{\text{цы}}) \cdot g = (4000 + 2000) \cdot 9.81 = 72594 \text{ Н}. \quad (4)$$

При этом 70 % веса приходится на заднюю ось, а 30 % – на переднюю, а с включенным приводом прицепа:

$$G_{\phi} = (m_{\text{тр}} + m_{\text{пр}}) \cdot g = (4000 + 9000) \cdot 9.81 = 127530 \text{ Н}. \quad (5)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Силовой анализ тягача с активным полуприцепом при $v=5$ км/ч

Вид покрытия	ϕ	ψ	$F_{\text{фвыкл}}$	$F_{\text{фвкл}}$	F_{ψ}
Сухой асфальт	0,75	0,017	54445,5	95647,5	3011,1
Грунтовая дорога	0,55	0,020	39926,7	70141,5	3542,5
Обледенелая дорога	0,07	0,023	5081,6	8927,1	4073,9
Песок	0,25	0,2	18148,5	31882,5	35425
Дорога в распутицу	0,25	0,17	18148,5	31882,5	30111,3

Зная силу, которую могут реализовать ведущие колеса, и силу, требуемую для дальнейшего движения тягача, найдем мощность, подводимую на колеса требуемую для преодоления сопротивления и реализуемую мощность колес (рис. 3).

$$P_{\text{к}} = P_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{тр}}, \quad (6)$$

$$P = M \cdot \omega = \frac{F \cdot V}{r_0^2}, \quad (7)$$

$$P_{\text{фвыкл}} = \frac{F_{\text{фвыкл}} \cdot V}{r_0^2} = \frac{0,3 \cdot F_{\text{фвыкл}} \cdot V}{r_{0\text{пер}}^2} + \frac{0,7 \cdot F_{\text{фвыкл}} \cdot V}{r_{0\text{зад}}^2} = \left(\frac{0,3}{0,98^2} + \frac{0,7}{1,5^2} \right) F_{\text{фвыкл}} \cdot V = 0,62 \cdot F_{\text{фвыкл}} \cdot V, \quad (8)$$

$$\Delta P = P_{\text{дв}} - P_{\text{потр}} = P_{\text{дв}} - P_{\text{фвыкл}} \cdot \eta_{\text{пр}}, \quad (9)$$

$$P_{\text{фпр}} = \frac{F_{\text{фвкл}} \cdot V}{r_0^2} = \frac{0,43 \cdot F_{\text{фвкл}} \cdot V}{r_{0\text{пр}}^2} = 0,45 \cdot F_{\text{фвкл}} \cdot V, \quad (10)$$

$$\Delta P \cdot \eta_{\text{вом}} \cdot \eta_{\text{пр}} \geq P_{\text{пр}} \leq P_{\text{фпр}}, \quad (11)$$

$$P_{\Psi} = \frac{F_{\Psi} \cdot V}{r_0^2} = 0,46 \cdot \left(\frac{0,3}{r_{0\text{пер}}^2} + \frac{0,7}{r_{0\text{зад}}^2} \right) F_{\Psi} \cdot V + \frac{0,54 \cdot F_{\Psi} \cdot V}{r_{0\text{пр}}^2} =$$

$$(0,27 + 0,54) \cdot F_{\Psi} \cdot V = 0,81 \cdot F_{\Psi} \cdot V$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2 и рис. 3.

Таблица 2 – Мощностной анализ тягача с активным полуприцепом

Вид покрытия	P_{ϕ}	P_{Ψ}	ΔP	$P_{\text{пр}}$
Сухой асфальт	46,9	3,3	1,4	1,1
Грунтовая дорога	34,4	3,9	17	13,9
Обледенелая дорога	4,4	4,5	54,5	5,57
Песок	15,6	39,4	40,5	19,9
Дорога в распутицу	15,6	33,5	40,5	19,9

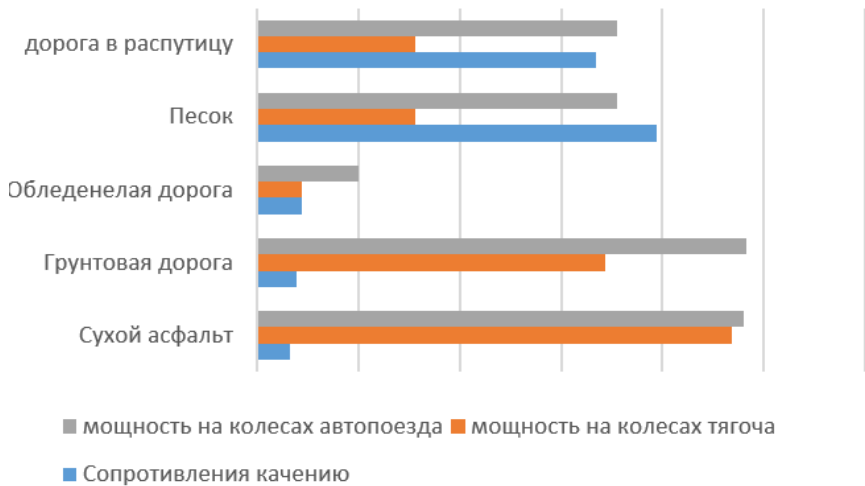


Рисунок 3 – Мощностная характеристика тягача с активным полуприцепом

СКОРОСТНОЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЯГАЧА С АКТИВНЫМ ПОЛУПРИЦЕПОМ

В связи с тем, что сопротивление качению зависит от скорости движения, мы определим максимальную скорость движения трактора с груженым прицепом без буксования ведущих колес на различных грунтах (рисунок 4).

$$V_{max\phi} = \frac{G_{\phi} \cdot \phi}{G_a \cdot \Psi} \leq V_{max}, \quad (13)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 3, рис. 4.

Таблица 3 – Скоростной анализ тягача с активным полуприцепом

Вид покрытия	$V_{max\phi_{выкл}}$	$V_{max\phi_{вкл}}$
Сухой асфальт	9,44	9,44
Грунтовая дорога	9,44	9,44
Обледенелая дорога	1,73	3,04
Песок	0,71	1,25
Дорога в распутицу	0,84	1,47

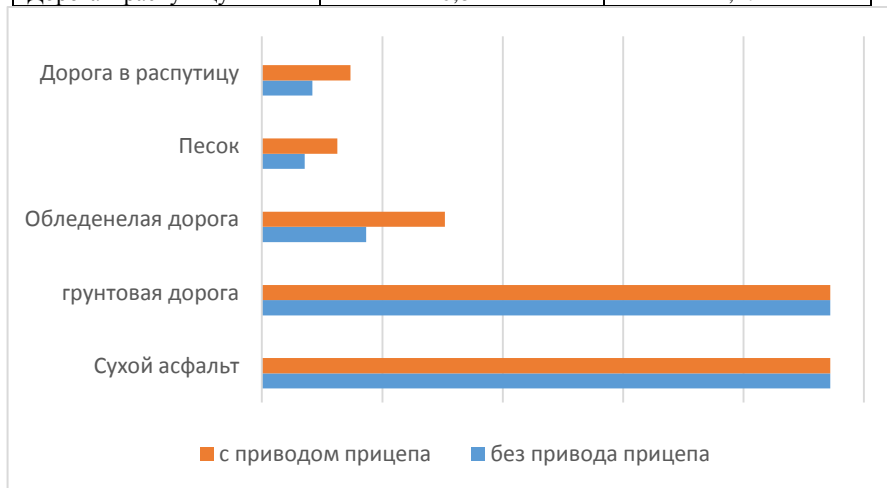


Рисунок 4 – Скоростная характеристика тягача с активным полуприцепом

ВРЕМЯ, ТРЕБУЕМОЕ ДЛЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ 100 М УЧАСТКОВ
С РАЗЛИЧНЫМ ПОКРЫТИЕМ

$$t = \frac{S}{V}, \quad (14)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Время, за которое тягач преодолевает 100 м

Вид покрытия	$t_{\text{выкл}}$	$t_{\text{вкл}}$
Сухой асфальт	10,6	10,6
Грунтовая дорога	10,6	10,6
Обледенелая дорога	57,8	32,9
Песок	140,8	80
Дорога в распутицу	119	68

МАКСИМАЛЬНЫЙ УГОЛ ПРЕОДОЛЕВАЕМОГО ПОДЪЕМА
ПРИ СКОРОСТИ 5 КМ/Ч

Максимальный угол преодолеваемого подъема зависит от начала пробуксовывания ведущих колес и равен:

– для тягача с активным полуприцепом:

$$G_a \cdot \varphi \cdot \sin(90 - \alpha) \geq G_a \cdot V_a \cdot \Psi \cdot \sin(90 - \alpha) + G_a \cdot \cos(90 - \alpha), \quad (15)$$

$$\alpha \leq 90 - \text{arcctg}(\varphi - \Psi \cdot V_a), \quad (16)$$

$$\alpha \leq \sin^{-1} \frac{P_e \cdot \eta \cdot r_0^2}{G_\varphi \cdot V_a} = \sin^{-1} (60000 \cdot 0,85 \cdot \frac{3,6}{72594 \cdot 5 \cdot 0,62}), \quad (17)$$

– для тягача с прицепом:

$$G_\varphi \cdot \varphi \cdot \sin(90 - \alpha) \geq G_a \cdot V_a \cdot \Psi \cdot \sin(90 - \alpha) + G_a \cdot \cos(90 - \alpha), \quad (18)$$

$$\alpha \leq 90 - \text{arcctg} \left(\varphi \cdot \frac{G_\varphi}{G_a} - \Psi \cdot V_a \right), \quad (19)$$

$$\alpha \leq \sin^{-1} \frac{P_e \cdot \eta \cdot r_0^2}{G_\varphi \cdot V_a}. \quad (20)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Максимальный угол преодолеваемого тягачом подъема при скорости 5 км/ч

Вид покрытия	$\alpha_{\text{выкл}}$	$\alpha_{\text{вкл}}$
Сухой асфальт	22	22
Грунтовая дорога	15,91	21
Обледенелая дорога	0,4	2,2
Песок	–	–
Дорога в распутицу	–	0,8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА ПРИВОДА ПРИЦЕПА

С учетом того факта что вал отбора мощности при синхронном вращении с колесами делает 3,4 об/м то передаточное число привода прицепа будет определено по формуле:

$$u_{\text{пр}} = \frac{4 \cdot \pi \cdot r_0}{3,4} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 0,98}{3,4} = 3,62, \quad (21)$$

где

$$u_{\text{пр}} = u_{\text{конической}} \cdot u_{\text{планетарной}} \cdot \quad (22)$$

Для увеличения ремонтпригодности мы унифицируем колесный редуктор с колесным редуктором МАЗ 5440 имеющий передаточное число:

$$u_{\text{планетарной}} = 2,9. \quad (23)$$

Следовательно

$$u_{\text{конической}} = \frac{u_{\text{пр}}}{u_{\text{планетарной}}} = \frac{3,62}{2,9} = 1,25. \quad (24)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из расчетов, можно увидеть, что наибольшую пользу активный полуприцеп приносит на дорогах с плохим покрытием.

В частности, скорости на песчаном покрытии и обледенелой дороге при помощи полуприцепа возрастают почти вдвое, а максимальный угол подъема на обледенелой дороге увеличивается в 3,5 раз. Однако стоит заметить, что подъем по песку все также недопустим.

Из-за использования в качестве тягача трактора мы имеем меньшие запасы мощности что ограничивает повышение проходимости, однако при использовании в качестве тягача магистрального автопоезда, который имеет большую крейсерскую скорость, а, следовательно, и большие потери энергии на преодоление сопротивления воздуха излишняя мощность на скоростях преодоления плохих дорожных условий будет в разы выше, что приведет к более значительному повышению проходимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алябьев, Б. А. Сухопутный транспорт леса / Б. А. Алябьев, Б. И. Ильин. – Москва: Лесная промышленность, 1990. – 417 с.
2. Руктешель, О. С. Выбор параметров и оценка тягово-скоростных и топливно-экономических свойств автомобиля: учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-37 01 02 «Автомобилестроение», 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей», 1-37 01 07 «Автосервис», 1-44 01 01 «Организация перевозок и управление на автомобильном и городском транспорте», 1-44 01 02 «Организация дорожного движения» / О. С. Руктешель. – Минск.: БНТУ, 2015. – 80 с.

Представлено 10.04.2023