



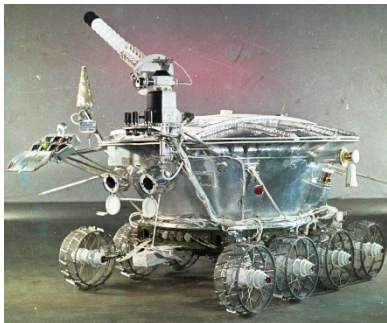
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ БЕЗЭКИПАЖНЫХ КОЛЕСНЫХ И ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

Котиев Г.О.,
директор Набережночелнинского института КФУ,
зав. кафедрой «Колесные машины»
МГТУ им. Н.Э. Баумана

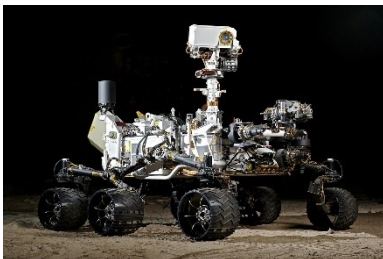
Безэкипажные колесные и гусеничные машины



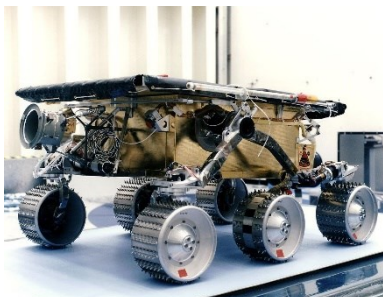
Луноход – 1 (СССР, 1970)



Марсоход Curiosity (США, 2011)



Марсоход Sojourner (США, 1996)



[Изображения заимствованы из открытых источников]

Безэкипажный трактор (США, 2016)



Безэкипажный самосвал (РФ, 2022)



Безэкипажный самосвал (Швеция, 2019)



Безэкипажная платформа (Швеция, 2018)



Безэкипажный гусеничный экскаватор (РФ, 2023)



Телетанк Т38 (СССР, 1935)



Телемеханическая группа машин (телетанк и танк управления) на базе малых танков Т-38.

Телеторпеда ЭТ-1-627 (СССР, 1941)

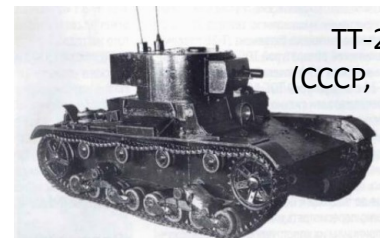


Телетанк Т20 (СССР, 1935)



Телемеханическая группа машин (телетанк и танк управления) на базе бронированных тягачей Т-20 «Комсомолец».

ТТ-26 (СССР, 1938)

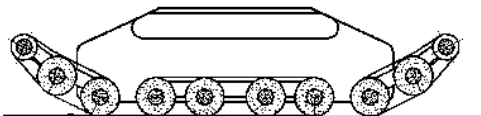


«Химический» (огнемётный) телетанк ТТ-26 из состава телемеханической группы, 1938 г.

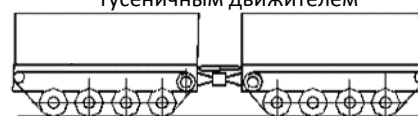
Конструктивные особенности контактных движителей



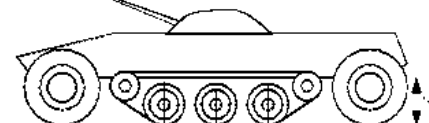
Гусеничный движитель с изменяемой геометрией



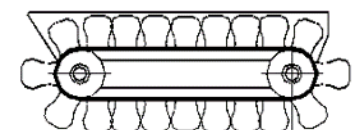
Шарнирно-сочлененная машина с гусеничным движителем



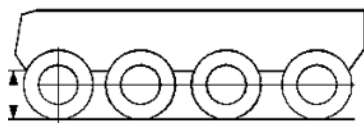
Колесно-гусеничный движитель



Гусеничный движитель на пневмобаллонах



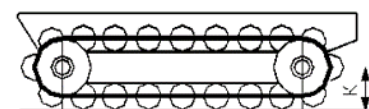
Колесный движитель



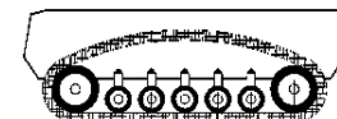
Гусеничный движитель с лыжным ОХМ



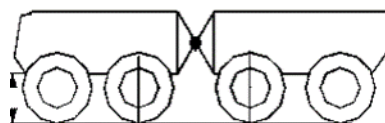
Пневмо-гусеничный движитель «Аэрролл»



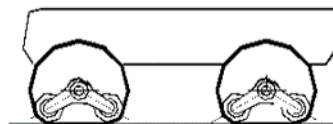
Однополостный пневмо-гусеничный движитель



Шарнирно-сочлененная машина с колесным движителем



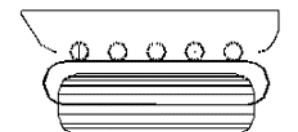
Колесный эластомеханический движитель с изменяемой геометрией



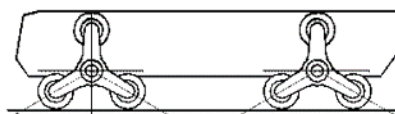
Роторно-винтовой движитель



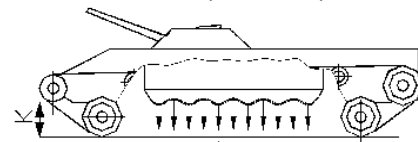
Торовый движитель



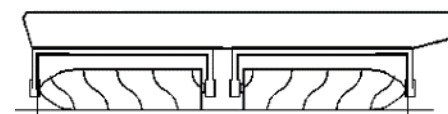
Движитель «Террастар»



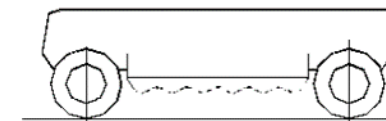
Гусеничный движитель с разгрузкой при помощи воздушной подушки



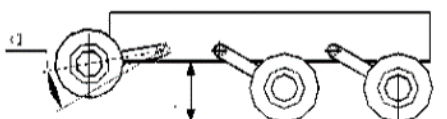
Многоопорный роторно-винтовой движитель



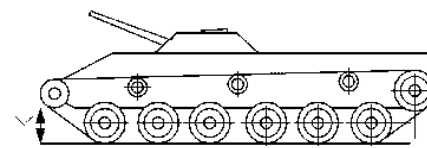
Колесный движитель с разгрузкой при помощи воздушной подушки



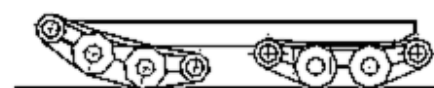
Колесно-шагающий движитель



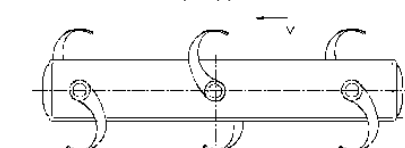
Гусеничный движитель



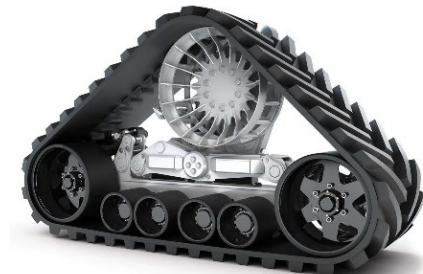
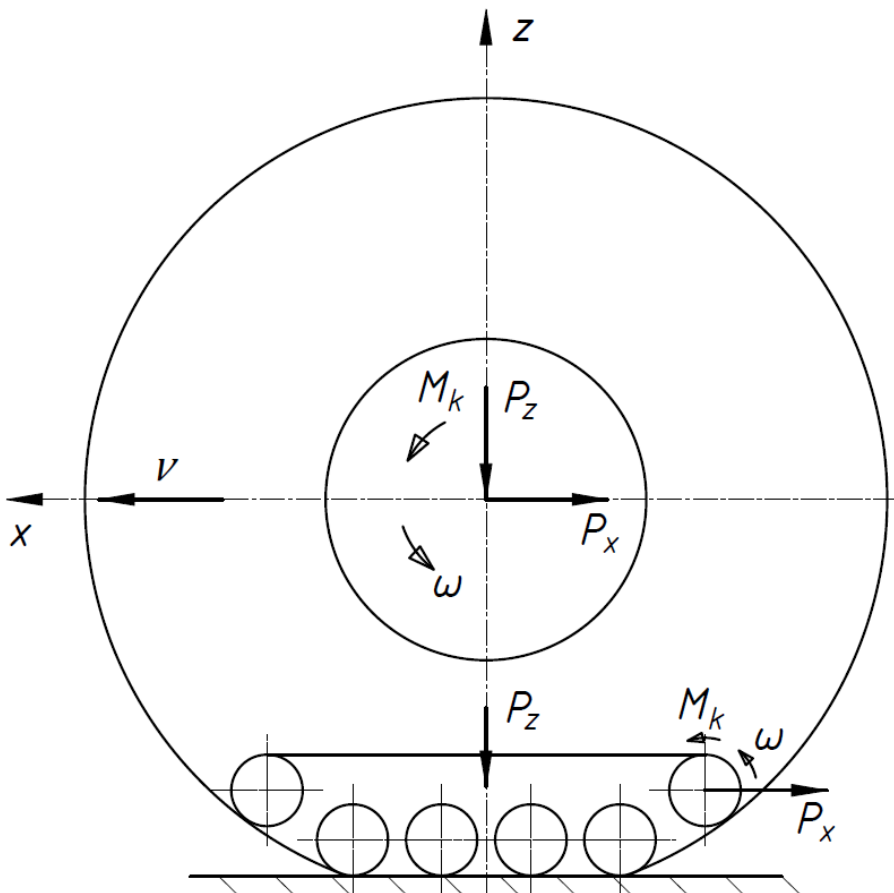
Многоопорный гусеничный движитель



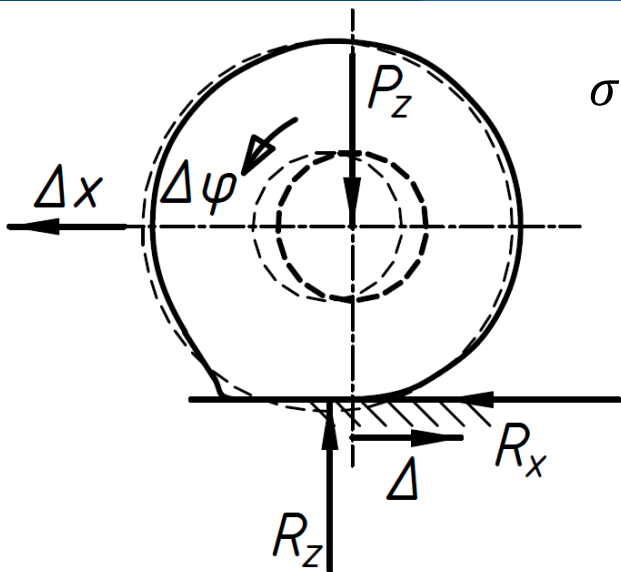
Шагающий движитель



Гусеничный движитель

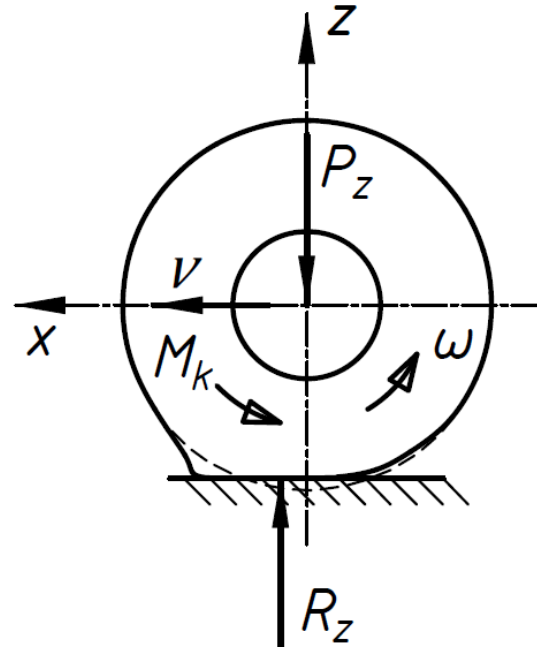
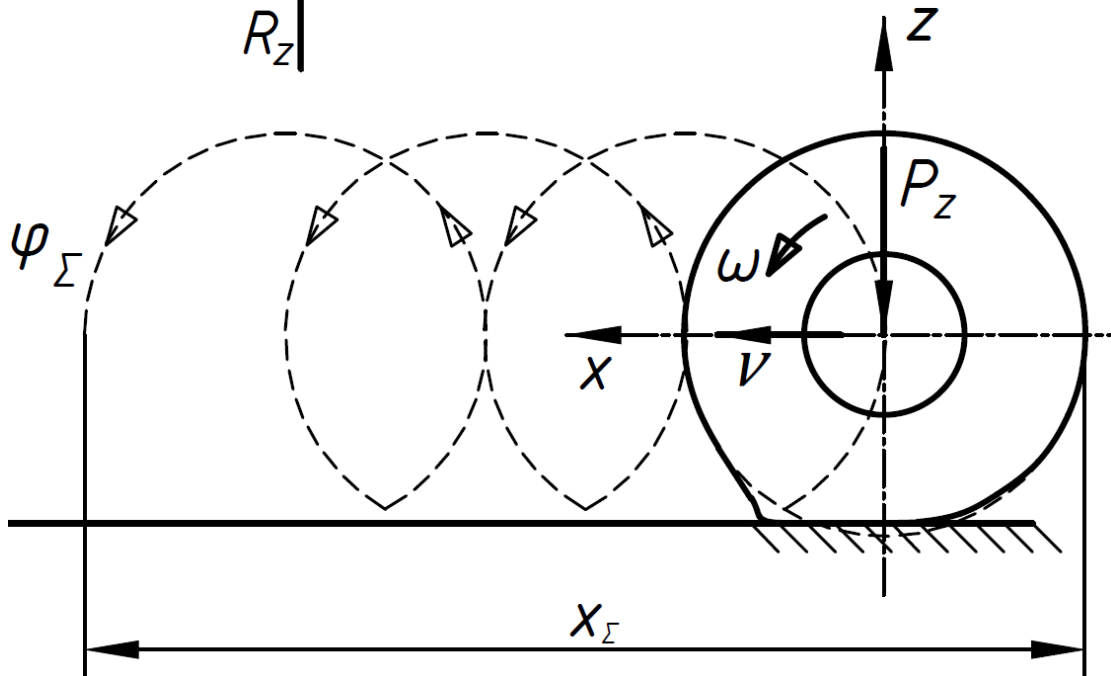
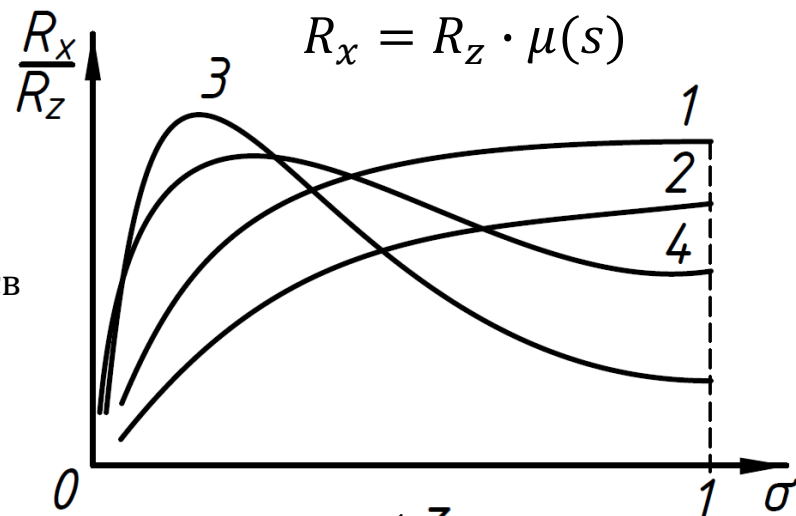


Взаимодействие колесного движителя с опорным основанием

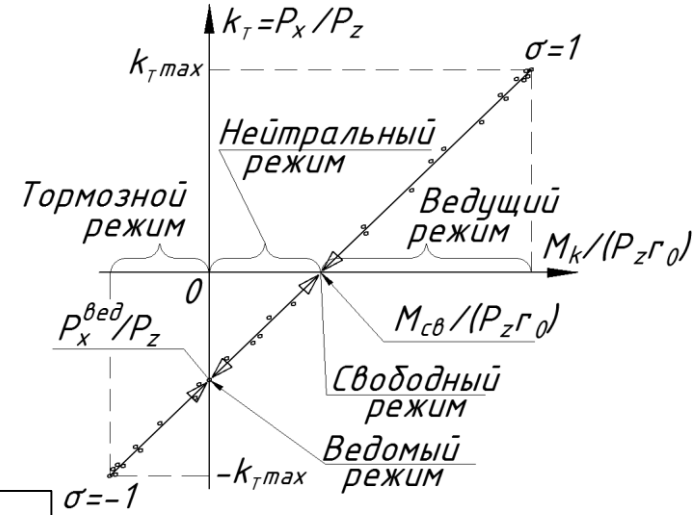
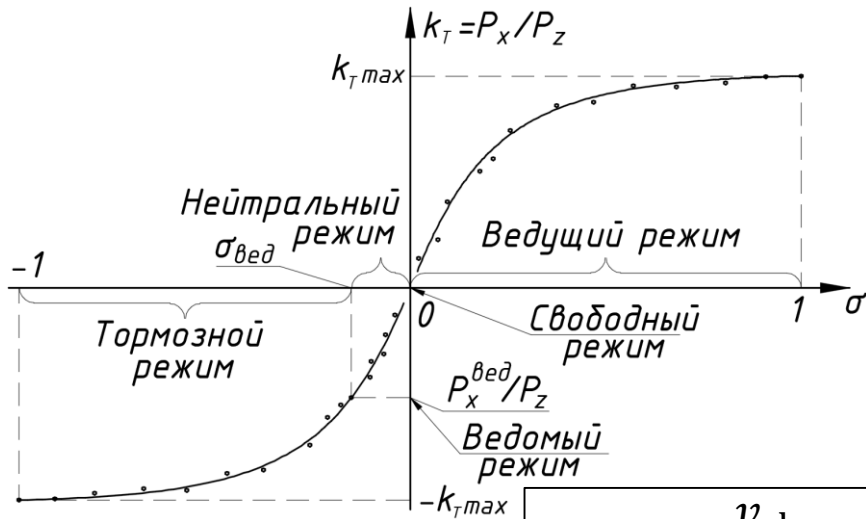


$$\sigma = \frac{v_{\text{ck}}}{\omega r_0} = \frac{\omega r_0 - v}{\omega r_0}$$

$$r_0 = \left(\frac{v}{\omega}\right)^{\text{CB}} = \left(\frac{x_{\Sigma}}{\varphi_{\Sigma}}\right)^{\text{CB}}$$



Качение автомобильного колеса по недеформируемой опорной поверхности



$$\sigma = \frac{v_{ск}}{\max(\omega r_0; v)} = \frac{\omega r_0 - v}{\max(\omega r_0; v)}$$

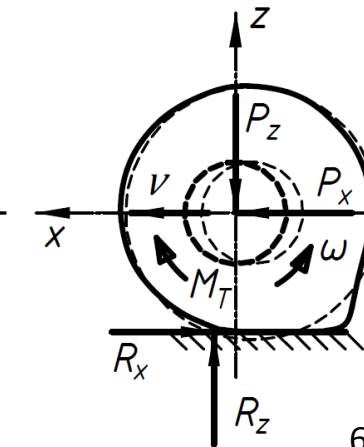
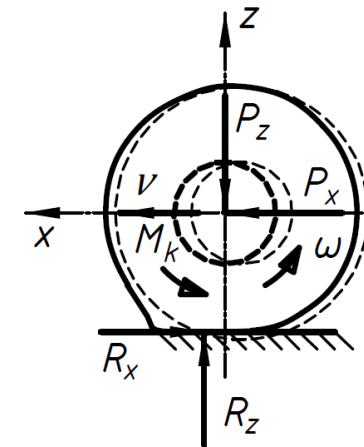
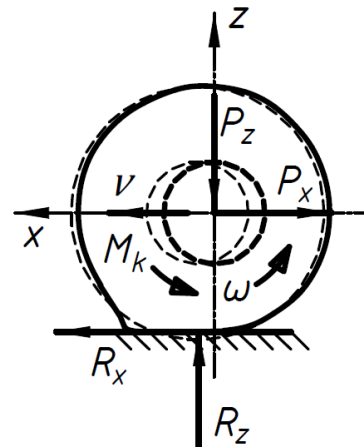
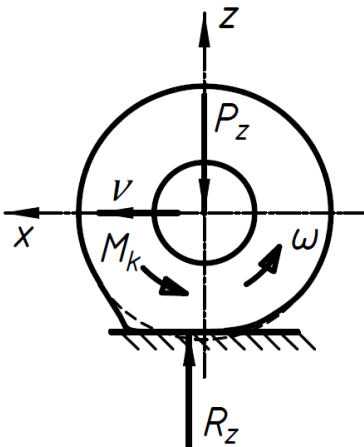
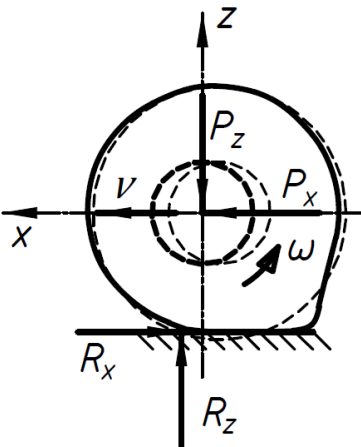
Ведомый режим

Свободный режим

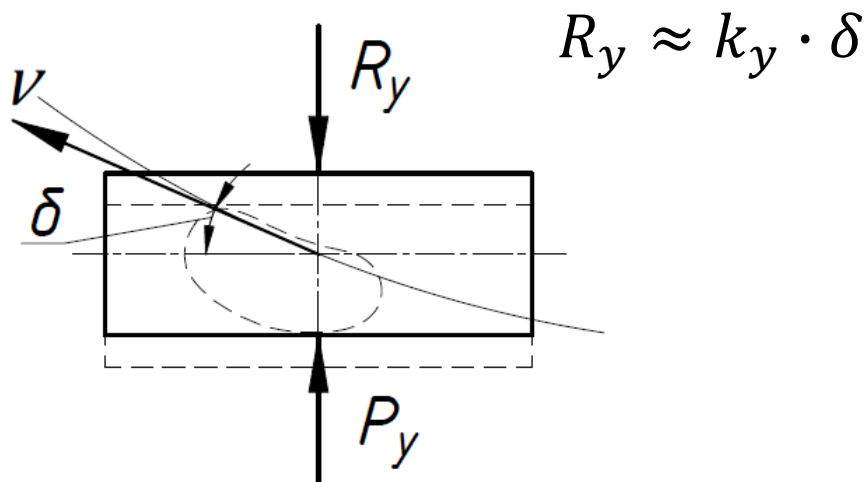
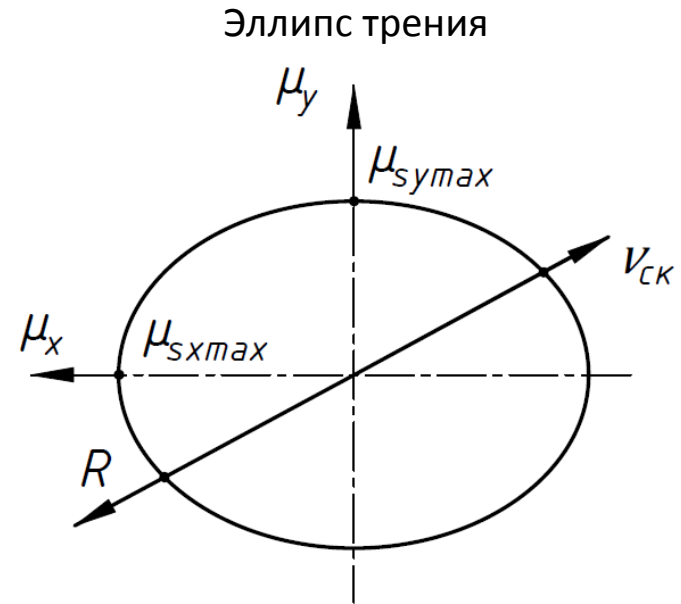
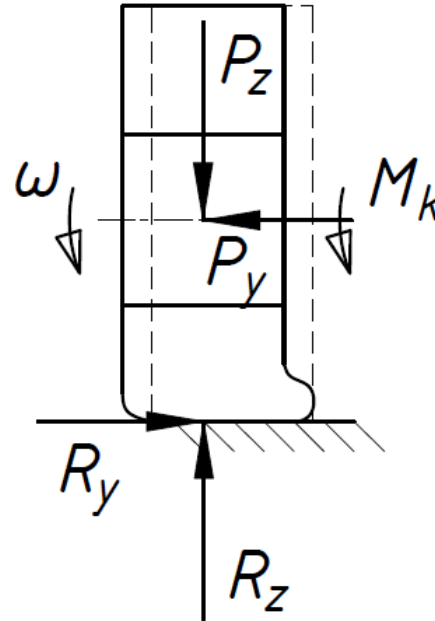
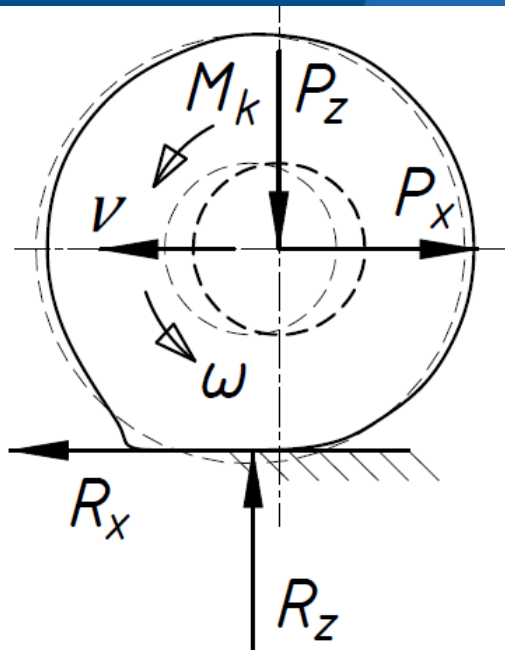
Ведущий режим

Нейтральный режим

Тормозной режим



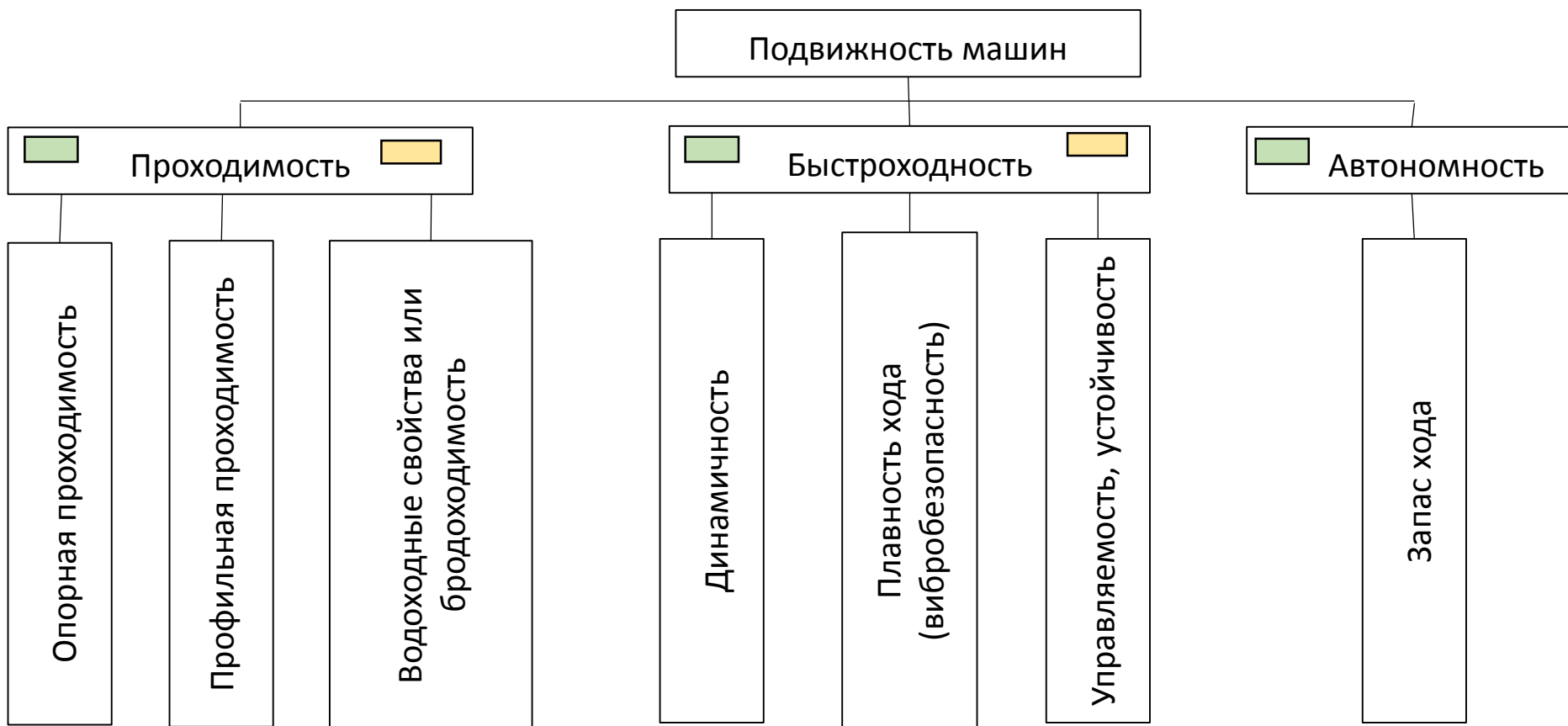
Качение колеса с уводом



$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \mu_s(s_\Sigma) R_z$$

$$s_\Sigma = \sqrt{\sigma^2 + (1 - \sigma)^2 \operatorname{tg}^2(\delta)}$$

Эксплуатационные свойства подвижности



Органы управления колесных и гусеничных машин



Направление
движения

Рулевое управления
(механизм поворота)

Тормозное управление

Силовая установка и
трансмиссия

Вспомогательные системы

Скорость движения



Системы помощи водителю ADAS



УРОВЕНЬ 0 NO AUTOMATION



Никаких систем помощи водителю, обычный бюджетный автомобиль. Водитель всегда должен контролировать ситуацию.

УРОВЕНЬ 1 HANDS ON / РУКИ НА РУЛЕ



Автомобиль с простой системой помощи водителю. Например, система экстренного торможения (АЕВ) или круиз-контроль. Водитель всегда должен контролировать ситуацию.

УРОВЕНЬ 2 HANDS OFF / РУКИ МОЖНО УБРАТЬ



Автомобиль может одновременно управлять всем (газ, тормоз, руль) и ехать автоматически, однако водитель всегда должен быть готов принять управление.

Пример автомобиля: Tesla

УРОВЕНЬ 3 EYES OFF / НА ДОРОГУ МОЖНО НЕ СМОТРЕТЬ



Автомобиль работает на автопилоте, можно смотреть кино за рулем. Однако, в какой-то момент автомобиль может попросить принять управление на себя.

Пример автомобиля: Audi A8 2018

УРОВЕНЬ 4 MIND OFF / МОЖНО ПОСПАТЬ



Как уровень 3, только участие водителя вообще не требуется. За рулем можно поспать. В случае конфликтной ситуации автомобиль попросит принять управление на себя. Если водитель неотреагирует автомобиль спокойно припаркуется самостоятельно.

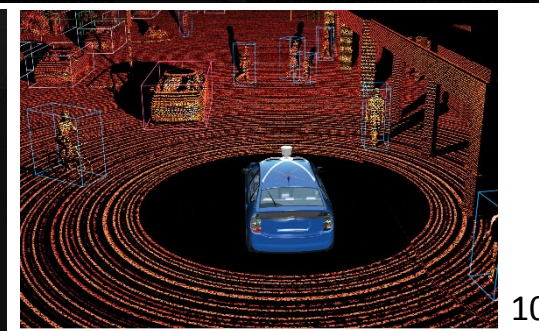
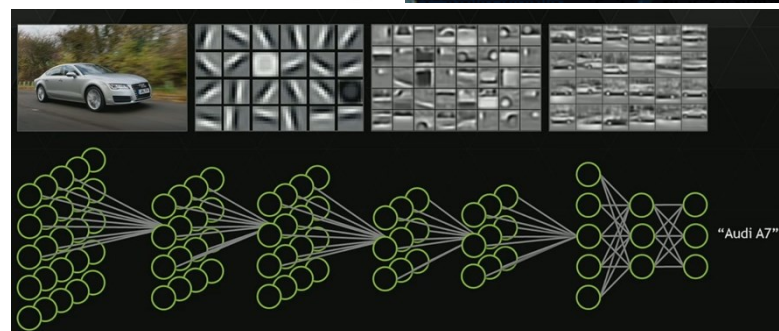
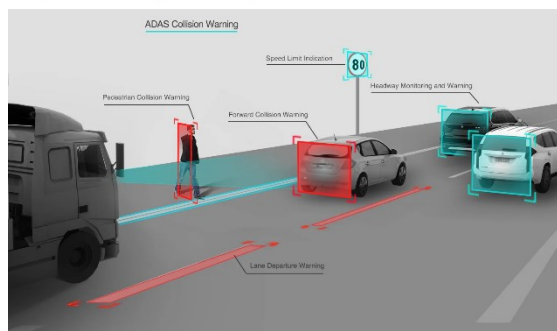
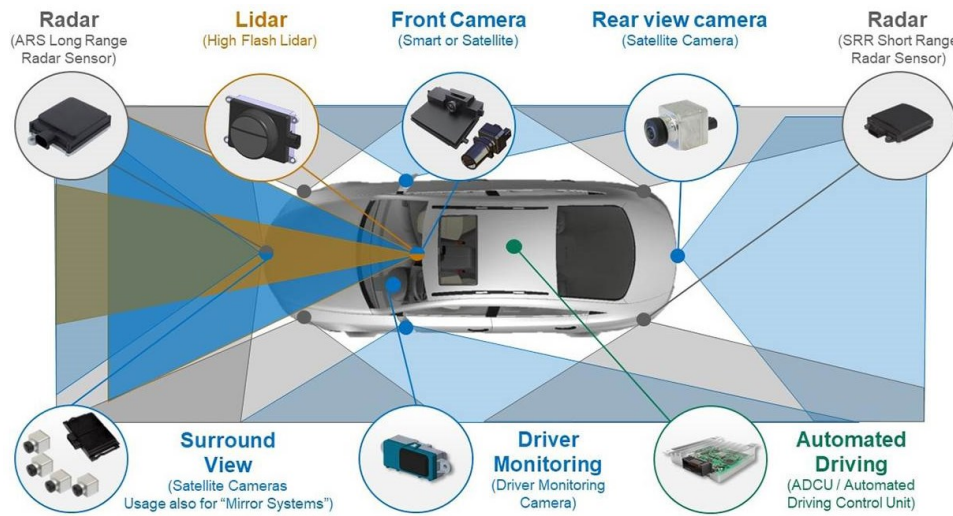
Автомобили 4 уровня пока не существуют на рынке. К 4 уровню стремятся такие компании как Waymo и Cruise.

УРОВЕНЬ 5 STEERING WHEEL OPTIONAL / РУЛЬ ОПЦИОНАЛЕН

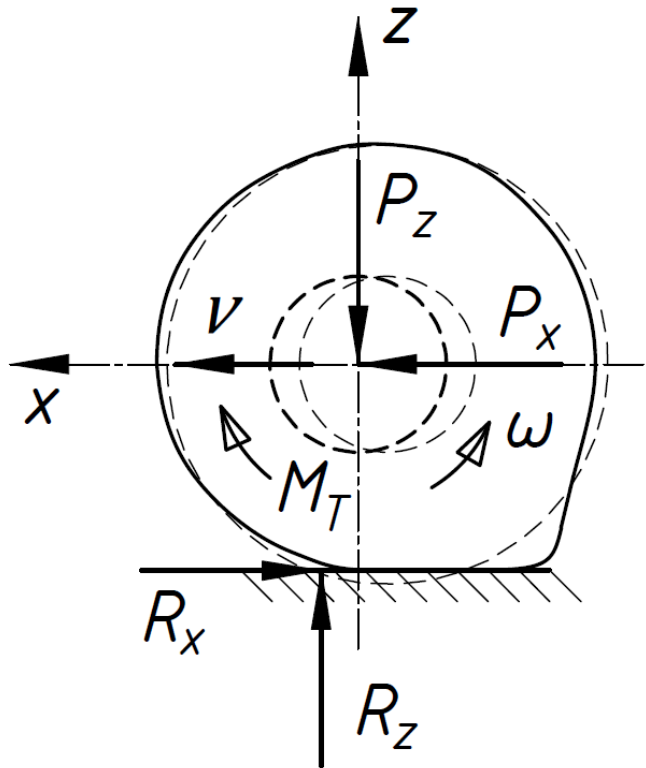


Полная автоматизация, автомобиль самостоятельно решает любую задачу без участия водителя. В машине может отсутствовать руль.

Автомобили 5 уровня ожидаются не ранее 2025 года.

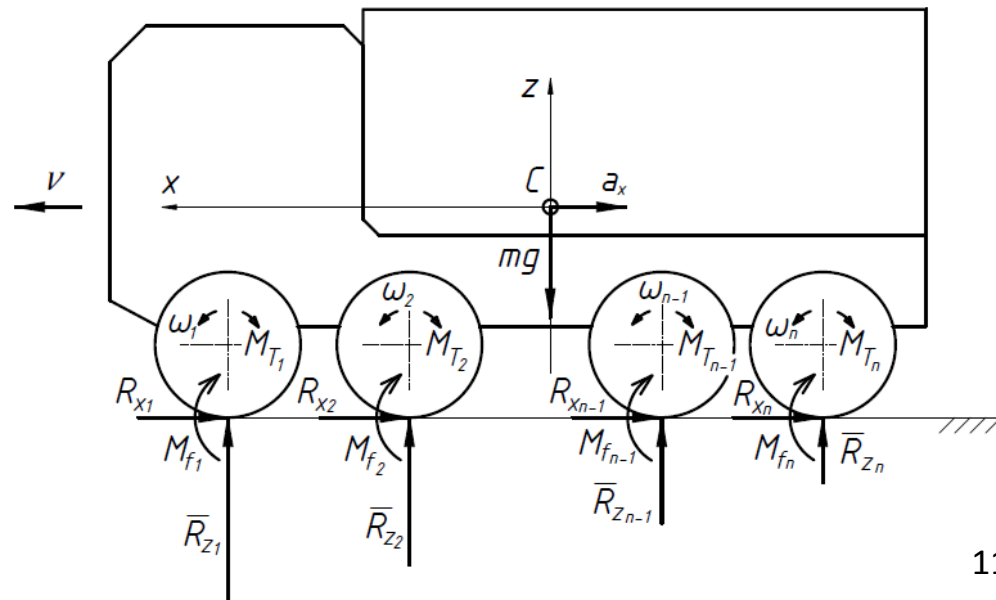
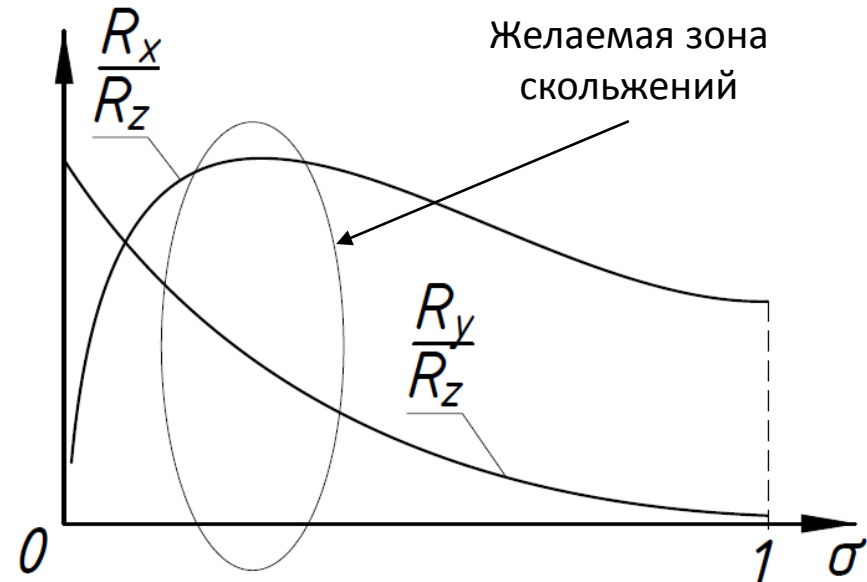


Антиблокировочная система

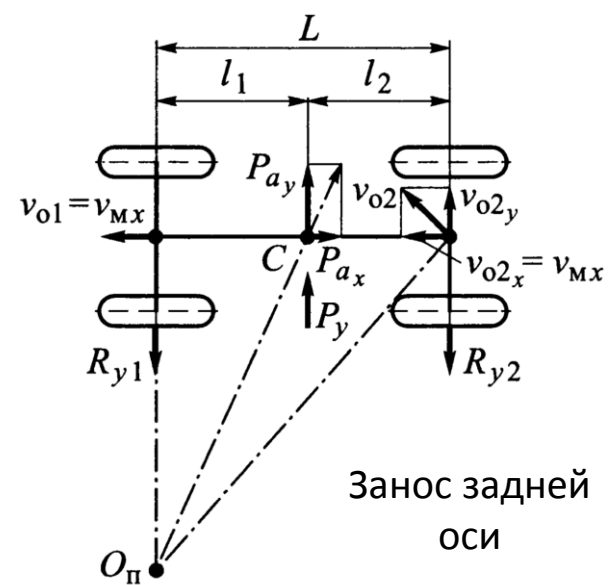
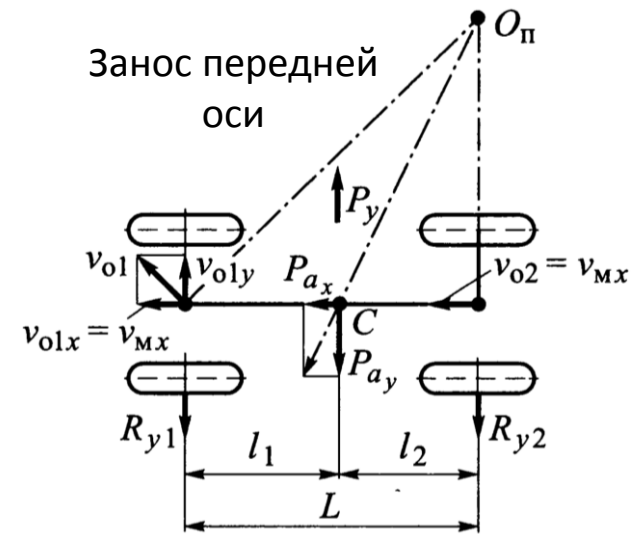


$$M_T = M_T(a_x)$$

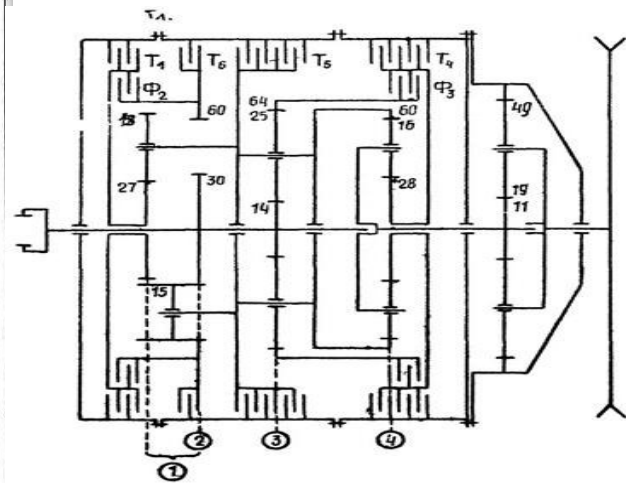
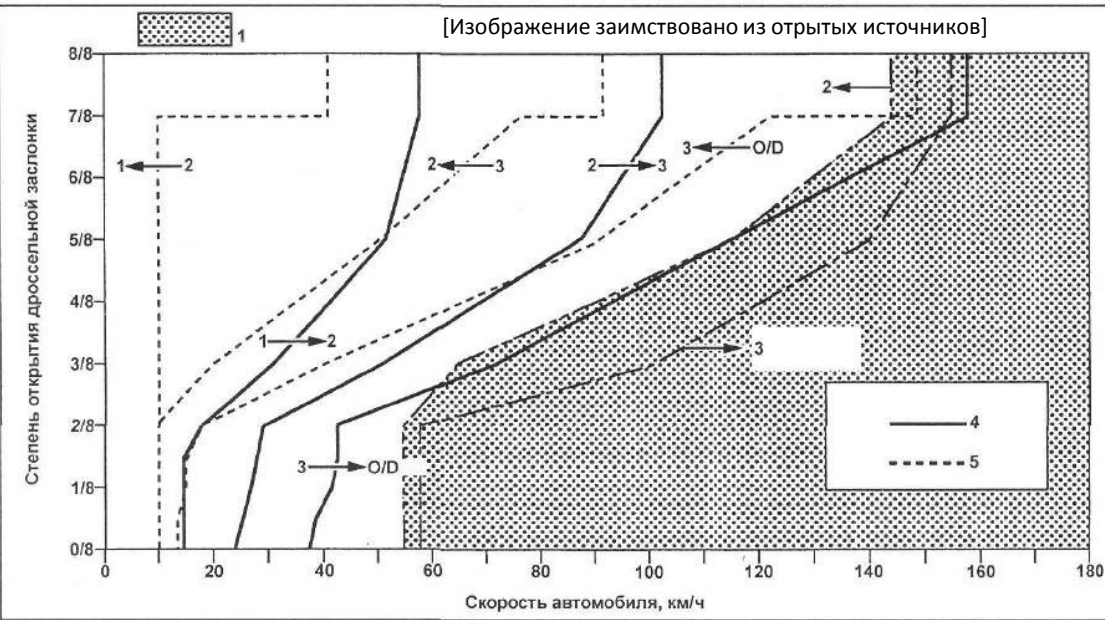
$$\tilde{v} = \frac{\sum \omega_i}{r_0} \rightarrow \tilde{\sigma}_i = \frac{|\omega_i r_0 - \tilde{v}|}{\max(\omega_i r_0, \tilde{v})}$$



Система динамической стабилизации

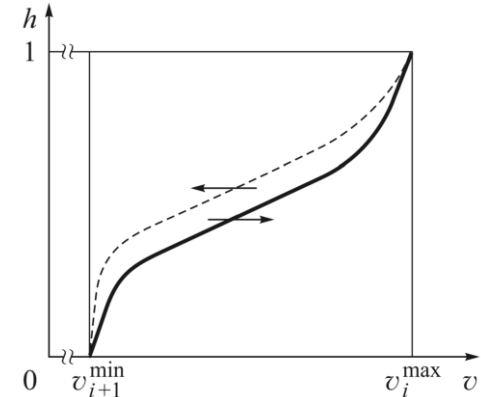
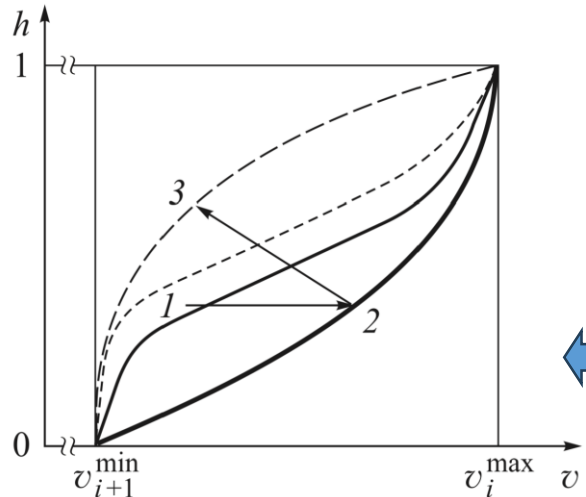
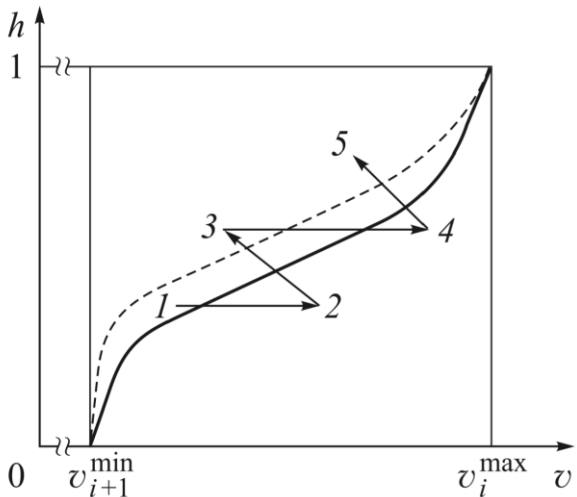


Автоматизация переключения в коробке передач



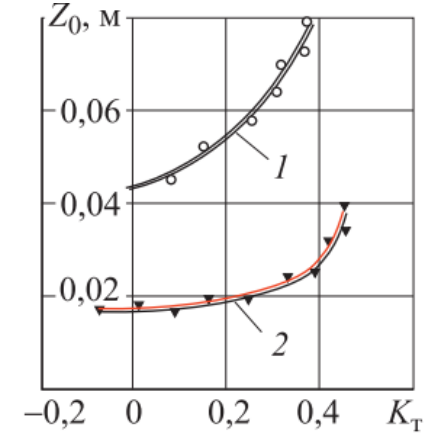
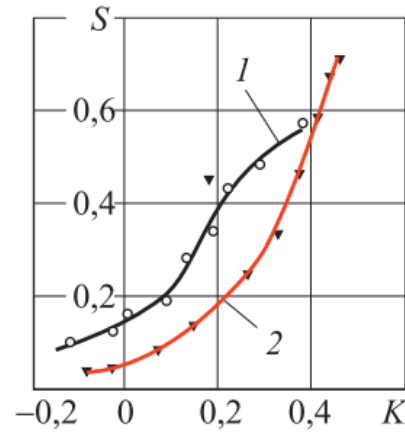
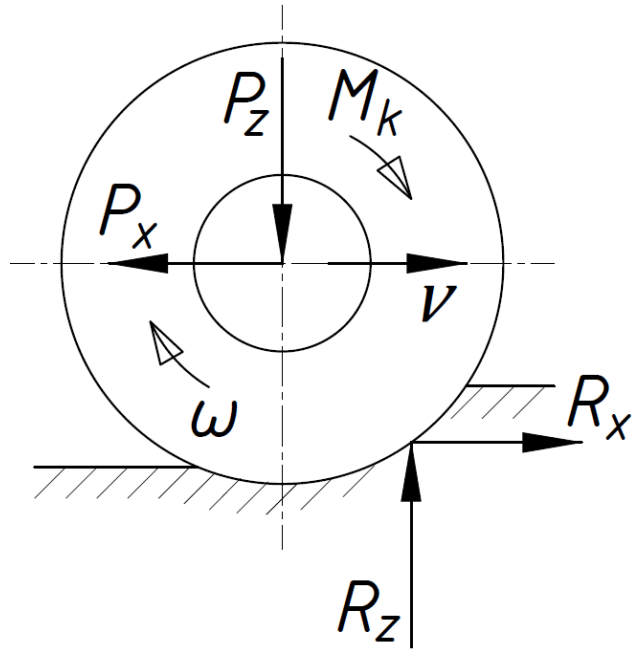
Бортовая коробка передач танка

Моменты переключений. 1 - область разрешения блокировки гидротрансформатора, 2 - блокировка гидротрансформатора ВЫКЛ, 3 - блокировка гидротрансформатора ВКЛ, 4 - повышающее переключение, 5 - понижающее переключение.



Способ борьбы с явлением «защелкивания» переключений передач

Противобуксовочная система

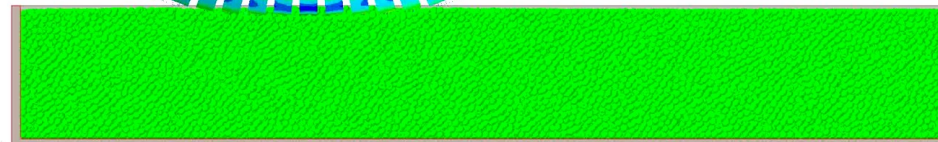
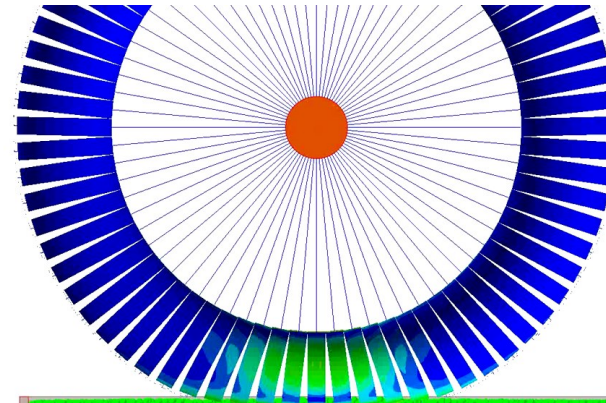


Зависимости коэффициента буксования колес S и глубины Z_0 погружения в песок от коэффициента тяги K_T



7.22e+02
6.50e+02
5.77e+02
5.05e+02
4.33e+02
3.61e+02
2.89e+02
2.17e+02
1.44e+02
7.22e+01
0.00e+00

Look Metric: #Rz11
Max #F 15067, 29967 times @ 0.050000
Min at Node: 91740 time @ 0.000000

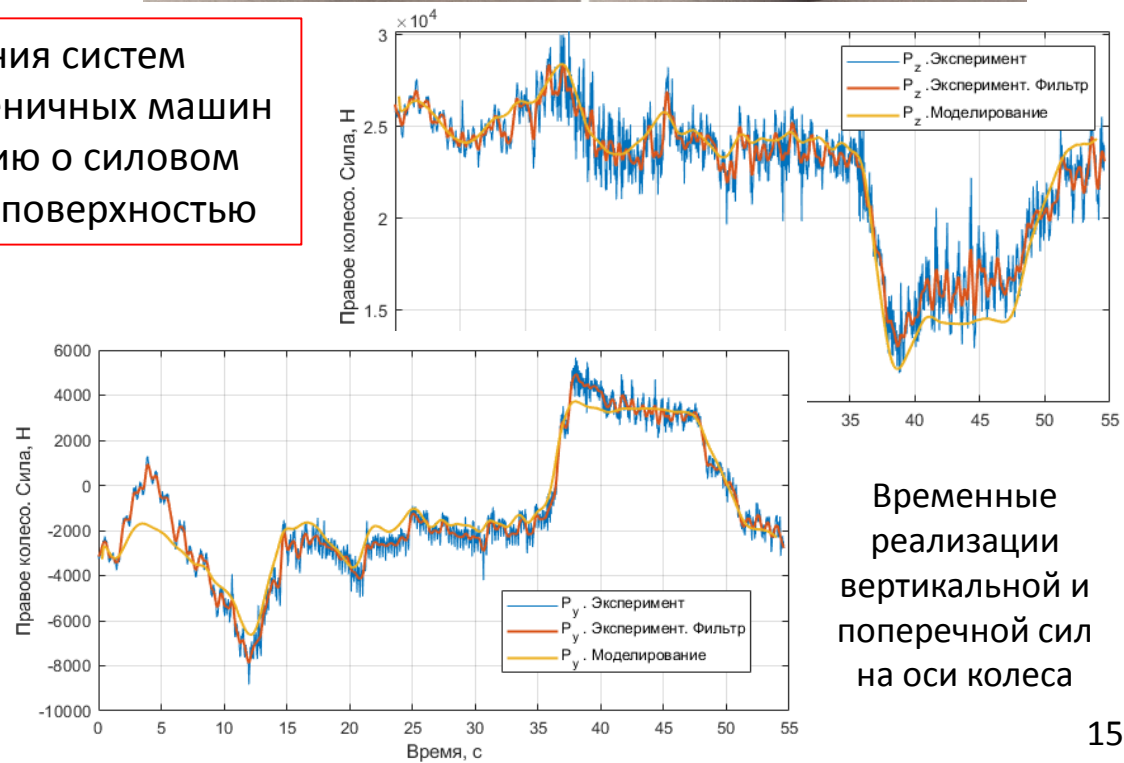
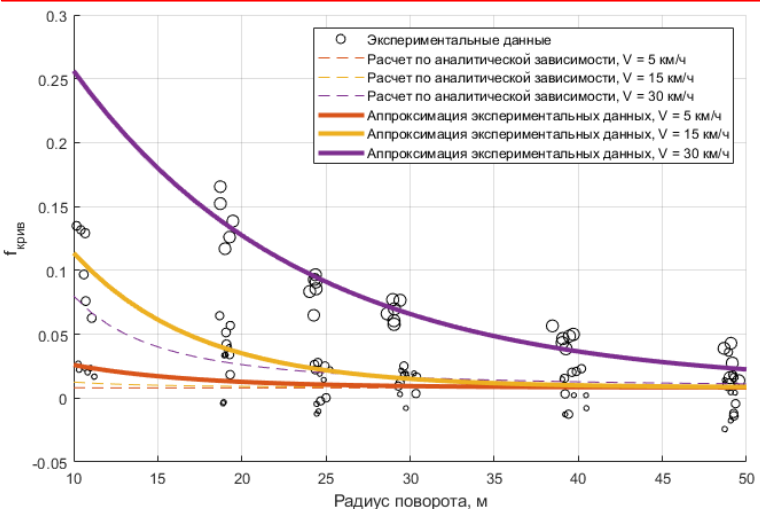


Translation/Velocity X
-1.00e+02 -8.00e+01 -6.00e+01 -4.00e+01 -2.00e+01 0.00e+00 2.00e+01 4.00e+01 6.00e+01 8.00e+01 1.00e+02

Оценка силовых факторов, возникающих на оси двигателя

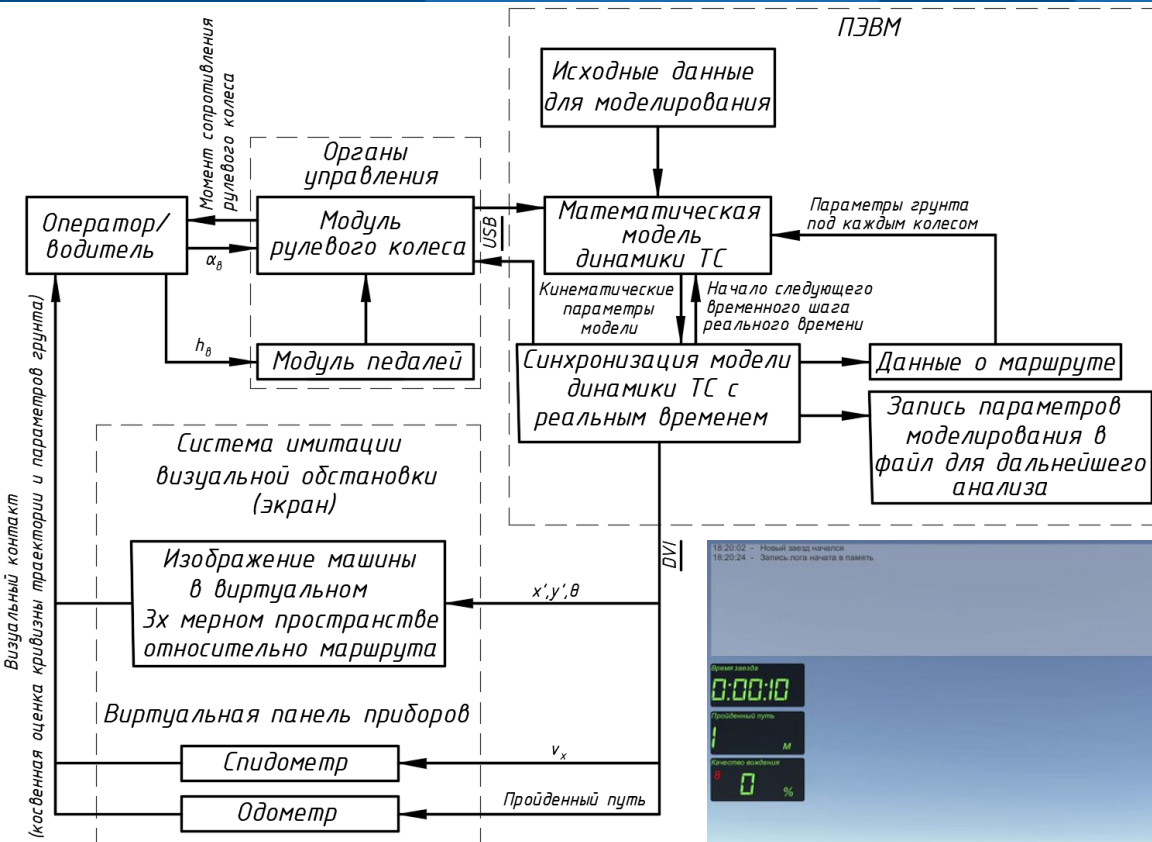


Для дальнейшего совершенствования систем управления движением колесных и гусеничных машин необходимо использовать информацию о силовом взаимодействии двигателя с опорной поверхностью

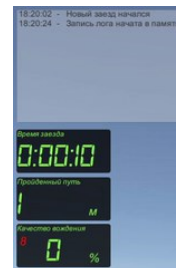


Временные реализации вертикальной и поперечной сил на оси колеса

Комплекс натурно-математического моделирования движения машин



Визуальный контакт
(косвенная оценка кривизны траектории и параметров грунта)



Эксплуатационные свойства подвижности безэкипажных колесных и гусеничных машин

