

К ОБОСНОВАНИЮ МОДЕЛИ РАБОТЫ МОДУЛЬНЫХ КОЛЕС ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Т.Н.БЕКЕНОВ, Ж.Т.НУСУПБЕК, Ж.Т.ТАСЫБЕКОВ
E.mail. ksucta@elcat.kg

К ОБОСНОВАНИЮ МОДЕЛИ РАБОТЫ МОДУЛЬНЫХ КОЛЕС ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Макалада транспорт каражаттарынын дөңгөлөктөрүнүн жумушуна, алардын көтөрүп жана тартып жүрүүчү касиеттерине болгон таасирин анализдөөнүн эсебинен алардын дөңгөлөктөрүндөгү тартуу күчтөрүнүн кайра бөлүштүрүү себептери негизделди. Натыйжада транспорт каражаттарынын ар бир огундагы дөңгөлөктөрдүн жумушун модулдуу катары өз-өзүнчө кароо зарылчылыгы негизделген.

В статье за счет анализа влияния на работу колес транспортных средств их несущих и тяговых свойств обоснованы причины перераспределения тяговых сил на их колесах. В результате обоснована необходимость отдельного рассмотрения работы колеса на каждой оси транспортного средства в качестве модульного.

In the article due to the analysis of influence on work of wheels of transport vehicles of their bearing and hauling properties reasons of redistribution of propelling forces are reasonable on their wheels. The necessity of separate consideration of work of wheel is reasonable as a result, on every axis of transport vehicle, as module.

Прежде чем рассматривать движение всего транспортного средства, а также внешние и внутренние силы, действующие на него, рассмотрим основные зависимости, связанные с работой одного из его важнейших устройств – колеса. Колесо – движитель транспортного средства, посредством колеса осуществляется его взаимодействие с внешней средой – дорогой. Через колесо передаются силы, которые удерживают транспортное средство на дороге, передвигают и останавливают его, заставляют изменить направление движения.

В настоящее время транспортное средство рассматривается как материальная точка, согласно классической теории движения, соответственно предполагается, что физические процессы взаимодействия колес с основанием идентичны независимо от того, к какой оси колесо принадлежит. Данная концепция классической теории движения транспортных средств противоречит действительности.

Несмотря на кажущуюся простоту, колесо является сложным устройством, работа которого в зависимости от поставленной цели и степени точности может изображаться и описываться с помощью различных моделей.

Ни колесо, ни поверхность, по которой катится колесо, не являются абсолютно жесткими, а хотя бы незначительно деформируются. Вследствие деформации колеса под действием нормальной реакции z_1 и деформации опорной поверхности под действием нормальной нагрузки колеса колесо качается по опорной поверхности не в точке или по линии, параллельной оси колеса, а по опорной площадке, форма которой приближается к эллипсу. Также на работу колеса влияют, кроме его несущих свойств, еще и тяговые. В зависимости от этих свойств работы колес полноприводного транспортного средства, к примеру трехосного, не идентичны между собой. Поэтому в последнее время предлагается рассматривать работу колес транспортных средств по отдельности, т.е. колеса разных осей рассматривать как модульные.

В зависимости от соотношения жесткости колеса в направлении, перпендикулярном к опорной поверхности, называемой в дальнейшем нормальной жесткостью, и жесткости опорной поверхности может быть различное соотношение деформации колеса и опорной поверхности. В соответствии с этим можно условно рассматривать следующие три случая движения колеса:

1) движение колеса, деформируемого под действием нормальной реакции, по твердой опорной поверхности, когда ее деформация мала в сравнении с радикальной деформацией колеса, и ею можно пренебречь;

2) движение жесткого колеса по деформируемой поверхности, когда нормальная деформация колеса мала в сравнении с деформацией опорной поверхности;

3) движение деформируемого колеса по деформируемой поверхности, когда деформации колеса и опорной поверхности соизмеримы.

Как было отмечено выше, чтобы учитывать тяговые свойства колес, необходимо также учесть как тангенциальную жесткость колес, так тангенциальную жесткость опорной поверхности.

В случае, когда опорной поверхностью являются деформируемые грунты, то при исследовании проходимости по ним транспортных средств необходимо установить параметры, которые определяют процессы взаимодействия их колес с грунтом.

Деформируемость и сопротивление сдвигу грунтов оценивают модулем деформации E или эмпирическими константами k , μ и сцеплением C и углом внутреннего трения φ . Обычно прочностные свойства грунта определяют сдвигом колеса машины, так как при этом будут учитываться конструктивные параметры колеса.

Проведенные эксперименты прочностных характеристик грунтов показали, что при одинаковой степени уплотнения сцепление не зависит от типа прибора, соответственно обнаружено, что прочностные параметры грунтов C и φ являются инвариантными, то есть могут быть определены различными приборами, которые обеспечивают плоскую поверхность сдвига. В настоящее время широко используется для экспресс-оценки метод с использованием ударника ДорНИИ.

Проведенный анализ показывает, что оценку грунтовых оснований можно производить с использованием характеристик механики грунтов. Выяснено, что инвариантные параметры необходимо использовать при разработке моделей взаимодействия колес транспортных средств с грунтом.

Из литературных источников известно уравнение тягового баланса транспортных средств, в том числе автомобилей, которое получено из условия взаимодействия всей машины с дорогой (основанием). Сила инерции, входящая в уравнение тягового баланса, вычисляется через коэффициент учета вращающихся масс всей машины. Кроме того в литературе приводятся расчетные схемы взаимодействия одиночных колес с дорогой в зависимости от характера и направления сил и моментов, действующих на эти колеса, т.е. различные режимы силового нагружения колес.

В то же время связи передних и задних колес в общем режиме их силового нагружения не приводятся и не рассматриваются, соответственно, уравнения силового баланса колес в отдельности в случаях их неравномерного движения отсутствуют. Поэтому рассмотрение по отдельности процессов взаимодействия модульных колес с дорогой необходимо для установления взаимосвязей их как между собой, так и с машиной в целом. В особенности это касается вопросов перераспределения тяговых сил на колесах машин при оценке их проходимости и эффективности.

Для оценки тягово-сцепных свойств транспортных средств и обоснования причин перераспределения тяговых сил на их колесах необходимо выбрать наиболее простую расчетную схему, т.е. их 4-колесный вариант. При этом параметры колес многоприводных машин, зависящие от свойств самих колес и типа силовой передачи, рассмотрим, полагая, что опора твердая. При этом влияние переходных процессов

исключаем из анализа, поскольку будем рассматривать только начальные этапы формирования параметров.

При движении полноприводных транспортных средств с заблокированной трансмиссией даже по прямолинейной траектории на малой скорости наблюдается циркуляция мощности в трансмиссии из-за перераспределения тяговых сил на колесах. Причиной подобных явлений применительно к транспортным средствам с колесной формулой 4x4 является то, что если они будут только переднеприводными, то радиус качения их колес будет меньше, чем в случае, если они были бы заднеприводными. Следовательно, передние колеса машин являются по отношению к задним отстающими (при равенстве весовых состояний мостов и давлений воздуха в шинах). Крутящие моменты на колесах машины в зависимости от величины давлений воздуха в шинах (которые на всех колесах постоянны) будут подчиняться условию:

$$M_{\kappa 2} > M_{\kappa 1},$$

где $M_{\kappa 1}$, $M_{\kappa 2}$ – крутящие моменты соответственно на передних и задних колесах, которые подтверждается экспериментами, проведенными на машине 4BC-10 /1/. При этом превышение давления в шинах передних колес над давлением воздуха в шинах задних колес обеспечивает превышение радиуса качения передних колес над радиусом качения задних колес, соответственно выполняется условие $M_{\kappa 1} > M_{\kappa 2}$, что также подтверждается в работе.

У автомобилей марки Урал 377 с колесной формулой 6x4 причиной перераспределения тяговых сил является то, что передние приводные колеса (передний мост) по отношению к задним (задний мост) – забегающие (при равенстве весовых состояний этих мостов и давления воздуха в шинах). Крутящие моменты на колесах автомобиля в зависимости от величины давления воздуха в шинах (которые на всех колесах постоянны) будут удовлетворять условию:

$$M_{\kappa 2} > M_{\kappa 3},$$

где $M_{\kappa 2}$, $M_{\kappa 3}$ – крутящие моменты на колесах соответственно среднего и заднего мостов. При этом превышение давления воздуха в шинах колес заднего моста над давлением воздуха в шинах колес среднего моста обеспечивает превышение радиуса качения колес заднего моста над радиусом качения колес среднего моста, соответственно выполняется условие $M_{\kappa 3} > M_{\kappa 2}$. Все это согласуется с экспериментами /2/.

На автомобилях марки Урал-375 с колесной формулой 6x6 (при равных весовых состояниях среднего и заднего мостов, превышающих весовое состояние переднего моста, и равных давлениях воздуха в шинах) причиной циркуляции мощности в трансмиссии является такое соотношение радиусов качения колес: $r_{\kappa 1} > r_{\kappa 2} = r_{\kappa 3}$ (при небольших тяговых силах на колесах), где $r_{\kappa 1}$, $r_{\kappa 2}$, $r_{\kappa 3}$ – радиусы качения колес, соответственно, переднего, среднего и заднего мостов. Соотношение крутящих моментов будет $M_{\kappa 1} > M_{\kappa 2} = M_{\kappa 3}$, где $M_{\kappa 1}$, $M_{\kappa 2}$ и $M_{\kappa 3}$ – крутящие моменты на колесах, соответственно, переднего, среднего и заднего мостов. При значительных тяговых силах на колесах соотношение параметров будет $r_{\kappa 2} = r_{\kappa 3} > r_{\kappa 1}$, $M_{\kappa 2} = M_{\kappa 3} > M_{\kappa 1}$. По исходным данным: $P_{w1} = 2,6 \text{ кг/см}^2$, $P_{w2} = P_{w3} = 3,2 \text{ кг/см}^2$, где P_{w1} , P_{w2} , P_{w3} – давления воздуха в шинах колес, соответственно, переднего, среднего и заднего мостов, получим такие соотношения параметров (при небольших тяговых силах на колесах): $r_{\kappa 1} > r_{\kappa 2} = r_{\kappa 3}$, $M_{\kappa 1} > M_{\kappa 2} = M_{\kappa 3}$.

При значительных тяговых силах на колесах $r_{\kappa 2} = r_{\kappa 3} > r_{\kappa 1}$, $M_{\kappa 2} = M_{\kappa 3} > M_{\kappa 1}$. По исходным данным: $P_{w1} = 1,0 \text{ кг/см}^2$, $P_{w2} = P_{w3} = 3,2 \text{ кг/см}^2$ получим такое распределение параметров (при небольших тяговых силах на колесах): $r_{\kappa 2} = r_{\kappa 3} > r_{\kappa 1}$, $M_{\kappa 2} = M_{\kappa 3} > M_{\kappa 1}$ ($M_{\kappa 1} = 0$). При значительных тяговых силах на колесах $r_{\kappa 2} = r_{\kappa 3} > r_{\kappa 1}$, $M_{\kappa 2} = M_{\kappa 3} > M_{\kappa 1}$.

Исходя из проведенного исследования, видно, что для более полного установления причин перераспределения тяговых сил между колесами необходимо выбрать расчетную схему транспортного средства, состоящую из 4-х ведущих колес, как наиболее простую в этом отношении, и для этой расчетной схемы разработать модель перераспределения тяговых сил на модульных колесах ее различных осей.

Список литературы

1 Анкудинов Д.Т. Шахтные пневмоколесные самоходные машины. Динамика, устойчивость, управляемость. – М.: Недра, 1984. – 252 с.

2. Петрушов В.А., Щуклин С.А., Московкин В.В. Сопротивление качению автомобилей и автопоездов. – М.: Машиностроение, 1975. – 222 с.

Макалада транспорт каражаттарынын дөңгөлөктөрүнүн жумушуна, алардын көтөрүп жана тартып жүрүүчү касиеттерине болгон таасирин анализдөөнүн эсебинен алардын дөңгөлөктөрүндөгү тартуу күчтөрүнүн кайра бөлүштүрүү себептери негизделди. Натыйжада транспорт каражаттарынын ар бир огундагы дөңгөлөктөрдүн жумушун модулдуу катары өз-өзүнчө кароо зарылчылыгы негизделген.

В статье за счет анализа влияния на работу колес транспортных средств их несущих и тяговых свойств обоснованы причины перераспределения тяговых сил на их колесах. В результате обоснована необходимость отдельного рассмотрения работы колеса на каждой оси транспортного средства в качестве модульного.

In the article due to the analysis of influence on work of wheels of transport vehicles of their bearing and hauling properties reasons of redistribution of propelling forces are reasonable on their wheels. The necessity of separate consideration of work of wheel is reasonable as a result, on every axis of transport vehicle, as module.

Прежде чем рассматривать движение всего транспортного средства, а также внешние и внутренние силы, действующие на него, рассмотрим основные зависимости, связанные с работой одного из его важнейших устройств – колеса. Колесо – движитель транспортного средства, посредством колеса осуществляется его взаимодействие с внешней средой – дорогой. Через колесо передаются силы, которые удерживают транспортное средство на дороге, передвигают и останавливают его, заставляют изменить направление движения.

В настоящее время транспортное средство рассматривается как материальная точка, согласно классической теории движения, соответственно предполагается, что физические процессы взаимодействия колес с основанием идентичны независимо от того, к какой оси колесо принадлежит. Данная концепция классической теории движения транспортных средств противоречит действительности.

Несмотря на кажущуюся простоту, колесо является сложным устройством, работа которого в зависимости от поставленной цели и степени точности может изображаться и описываться с помощью различных моделей.

Ни колесо, ни поверхность, по которой катится колесо, не являются абсолютно жесткими, а хотя бы незначительно деформируются. Вследствие деформации колеса под действием нормальной реакции z_1 и деформации опорной поверхности под действием нормальной нагрузки колеса колесо качается по опорной поверхности не в точке или по линии, параллельной оси колеса, а по опорной площадке, форма которой приближается к эллипсу. Также на работу колеса влияют, кроме его несущих свойств, еще и тяговые. В зависимости от этих свойств работы колес полноприводного транспортного средства, к примеру трехосного, не идентичны между собой. Поэтому в последнее время

предлагается рассматривать работу колес транспортных средств по отдельности, т.е. колеса разных осей рассматривать как модульные.

В зависимости от соотношения жесткости колеса в направлении, перпендикулярном к опорной поверхности, называемой в дальнейшем нормальной жесткостью, и жесткости опорной поверхности может быть различное соотношение деформации колеса и опорной поверхности. В соответствии с этим можно условно рассматривать следующие три случая движения колеса:

- 1) движение колеса, деформируемого под действием нормальной реакции, по твердой опорной поверхности, когда ее деформация мала в сравнении с радикальной деформацией колеса, и ею можно пренебречь;
- 2) движение жесткого колеса по деформируемой поверхности, когда нормальная деформация колеса мала в сравнении с деформацией опорной поверхности;
- 3) движение деформируемого колеса по деформируемой поверхности, когда деформации колеса и опорной поверхности соизмеримы.

Как было отмечено выше, чтобы учитывать тяговые свойства колес, необходимо также учесть как тангенциальную жесткость колес, так тангенциальную жесткость опорной поверхности.

В случае, когда опорной поверхностью являются деформируемые грунты, то при исследовании проходимости по ним транспортных средств необходимо установить параметры, которые определяют процессы взаимодействия их колес с грунтом.

Деформируемость и сопротивление сдвигу грунтов оценивают модулем деформации E или эмпирическими константами k , μ и сцеплением C и углом внутреннего трения φ . Обычно прочностные свойства грунта определяют сдвигом колеса машины, так как при этом будут учитываться конструктивные параметры колеса.

Проведенные эксперименты прочностных характеристик грунтов показали, что при одинаковой степени уплотнения сцепление не зависит от типа прибора, соответственно обнаружено, что прочностные параметры грунтов C и φ являются инвариантными, то есть могут быть определены различными приборами, которые обеспечивают плоскую поверхность сдвига. В настоящее время широко используется для экспресс-оценки метод с использованием ударника ДорНИИ.

Проведенный анализ показывает, что оценку грунтовых оснований можно производить с использованием характеристик механики грунтов. Выяснено, что инвариантные параметры необходимо использовать при разработке моделей взаимодействия колес транспортных средств с грунтом.

Из литературных источников известно уравнение тягового баланса транспортных средств, в том числе автомобилей, которое получено из условия взаимодействия всей машины с дорогой (основанием). Сила инерции, входящая в уравнение тягового баланса, вычисляется через коэффициент учета вращающихся масс всей машины. Кроме того в литературе приводятся расчетные схемы взаимодействия одиночных колес с дорогой в зависимости от характера и направления сил и моментов, действующих на эти колеса, т.е. различные режимы силового нагружения колес.

В то же время связи передних и задних колес в общем режиме их силового нагружения не приводятся и не рассматриваются, соответственно, уравнения силового баланса колес в отдельности в случаях их неравномерного движения отсутствуют. Поэтому рассмотрение по отдельности процессов взаимодействия модульных колес с дорогой необходимо для установления взаимосвязей их как между собой, так и с машиной в целом. В особенности это касается вопросов перераспределения тяговых сил на колесах машин при оценке их проходимости и эффективности.

Для оценки тягово-сцепных свойств транспортных средств и обоснования причин перераспределения тяговых сил на их колесах необходимо выбрать наиболее простую расчетную схему, т.е. их 4-колесный вариант. При этом параметры колес многоприводных машин, зависящие от свойств самих колес и типа силовой передачи,

рассмотрим, полагая, что опора твердая. При этом влияние переходных процессов исключаем из анализа, поскольку будем рассматривать только начальные этапы формирования параметров.

При движении полноприводных транспортных средств с заблокированной трансмиссией даже по прямолинейной траектории на малой скорости наблюдается циркуляция мощности в трансмиссии из-за перераспределения тяговых сил на колесах. Причиной подобных явлений применительно к транспортным средствам с колесной формулой 4x4 является то, что если они будут только переднеприводными, то радиус качения их колес будет меньше, чем в случае, если они были бы заднеприводными. Следовательно, передние колеса машин являются по отношению к задним отстающими (при равенстве весовых состояний мостов и давлений воздуха в шинах). Крутящие моменты на колесах машины в зависимости от величины давлений воздуха в шинах (которые на всех колесах постоянны) будут подчиняться условию:

$$M_{к2} > M_{к1},$$

где $M_{к1}$, $M_{к2}$ – крутящие моменты соответственно на передних и задних колесах, которые подтверждается экспериментами, проведенными на машине 4BC-10 /1/. При этом превышение давления в шинах передних колес над давлением воздуха в шинах задних колес обеспечивает превышение радиуса качения передних колес над радиусом качения задних колес, соответственно выполняется условие $M_{к1} > M_{к2}$, что также подтверждается в работе.

У автомобилей марки Урал 377 с колесной формулой 6x4 причиной перераспределения тяговых сил является то, что передние приводные колеса (передний мост) по отношению к задним (задний мост) – забегающие (при равенстве весовых состояний этих мостов и давления воздуха в шинах). Крутящие моменты на колесах автомобиля в зависимости от величины давления воздуха в шинах (которые на всех колесах постоянны) будут удовлетворять условию:

$$M_{к2} > M_{к3},$$

где $M_{к2}$, $M_{к3}$ – крутящие моменты на колесах соответственно среднего и заднего мостов. При этом превышение давления воздуха в шинах колес заднего моста над давлением воздуха в шинах колес среднего моста обеспечивает превышение радиуса качения колес заднего моста над радиусом качения колес среднего моста, соответственно выполняется условие $M_{к3} > M_{к2}$. Все это согласуется с экспериментами /2/.

На автомобилях марки Урал-375 с колесной формулой 6x6 (при равных весовых состояниях среднего и заднего мостов, превышающих весовое состояние переднего моста, и равных давлениях воздуха в шинах) причиной циркуляции мощности в трансмиссии является такое соотношение радиусов качения колес: $r_{к1} > r_{к2} = r_{к3}$ (при небольших тяговых силах на колесах), где $r_{к1}$, $r_{к2}$, $r_{к3}$ – радиусы качения колес, соответственно, переднего, среднего и заднего мостов. Соотношение крутящих моментов будет $M_{к1} > M_{к2} = M_{к3}$, где $M_{к1}$, $M_{к2}$ и $M_{к3}$ – крутящие моменты на колесах, соответственно, переднего, среднего и заднего мостов. При значительных тяговых силах на колесах соотношение параметров будет $r_{к2} = r_{к3} > r_{к1}$, $M_{к2} = M_{к3} > M_{к1}$. По исходным данным: $P_{w1} = 2,6$ $кг/см^2$, $P_{w2} = P_{w3} = 3,2$ $кг/см^2$, где P_{w1} , P_{w2} , P_{w3} – давления воздуха в шинах колес, соответственно, переднего, среднего и заднего мостов, получим такие соотношения параметров (при небольших тяговых силах на колесах): $r_{к1} > r_{к2} = r_{к3}$, $M_{к1} > M_{к2} = M_{к3}$.

При значительных тяговых силах на колесах $r_{к2} = r_{к3} > r_{к1}$, $M_{к2} = M_{к3} > M_{к1}$. По исходным данным: $P_{w1} = 1,0$ $кг/см^2$, $P_{w2} = P_{w3} = 3,2$ $кг/см^2$ получим такое распределение

параметров (при небольших тяговых силах на колесах) : $r_{к2} = r_{к3} > r_{к1}$, $M_{к2} = M_{к3} > M_{к1}$ ($M_{к1} = 0$). При значительных тяговых силах на колесах $r_{к2} = r_{к3} > r_{к1}$, $M_{к2} = M_{к3} > M_{к1}$.

Исходя из проведенного исследования, видно, что для более полного установления причин перераспределения тяговых сил между колесами необходимо выбрать расчетную схему транспортного средства, состоящую из 4-х ведущих колес, как наиболее простую в этом отношении, и для этой расчетной схемы разработать модель перераспределения тяговых сил на модульных колесах ее различных осей.

Список литературы

2 Анкудинов Д.Т. Шахтные пневмоколесные самоходные машины. Динамика, устойчивость, управляемость. – М.: Недра, 1984. – 252 с.

2. Петрушов В.А., Щуклин С.А., Московкин В.В. Сопротивление качению автомобилей и автопоездов. – М.: Машиностроение, 1975. – 222 с.