

УДК 629.113

Д.И. Истомина, А.В. Келлер, А.А. Шелепов

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИНТОШАРИКОВОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛА НА КОЛЕСНОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО

Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет) ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ)

Рассматривается исследование самоблокирующегося винтошарикового дифференциала при различных режимах движения автомобиля. Для каждого режима движения представлены зависимости числа оборотов полуосей и коэффициента блокировки от времени. Данные зависимости получены в ходе испытаний на динамическом нагрузочном стенде.

*Ключевые слова:* винтошариковый дифференциал, самоблокирующийся дифференциал, испытания дифференциала, коэффициент блокировки.

Специфические особенности винтошарикового дифференциала (ВШД), вместе с новыми достижениями технологии обуславливали и обуславливают расширение области их применения.

В настоящее время складывается тенденция применения ВШД в трансмиссии автомобиля с целью рационального использования его сцепного веса и силы тяги по сцеплению для улучшения динамических характеристик.

С учетом разнообразных условий и режимов эксплуатации автомобилей возникают различные требования, предъявляемые к ним, и, следовательно, к характеристикам их трансмиссий и дифференциалов. Если из соображения проходимости предполагают увеличение значения коэффициента блокировки дифференциала, основного параметра, характеризующего ВШД, то из соображения устойчивости и управляемости автомобиля в случае движения с высокой скоростью требуют значительного его ограничения.

В настоящее время существуют колесные транспортные средства, которые объединяют в себе свойства как автомобилей повышенной проходимости (такие как полный привод и увеличенный дорожный просвет), так и легковых автомобилей личного пользования (эксплуатация на повышенных скоростях, требования к легкости управления и безопасности) [1]. Движение этих автомобилей в их основных режимах – на повышенной скорости, в сочетании с постоянным полным приводом и ВШД – изучено пока недостаточно подробно, притом, что требования к проходимости и требования к устойчивости и управляемости, примененные к одному автомобилю, вступают в противоречие друг с другом. Это, в частности, отражается в различии рекомендаций по выбору оптимальных значений коэффициентов блокировок дифференциалов ( $K_6$ ). Диапазон рекомендованных значений коэффициента блокировки чрезвычайно широк – от 1 до 8. Известны рекомендации по выбору коэффициента блокировки в диапазоне 2,5...4, рационального как с точки зрения проходимости, так и удовлетворительной управляемости [2].

Таким образом, представляется целесообразным исследование проблемы влияния особенностей работы ВШД на устойчивость движения автомобиля.

В процессе прямолинейного движения при бортовой симметрии (при равных вертикальных реакциях и одинаковых дорожных условиях) и отсутствии действующих на колесную машину боковых сил происходит оптимальный характер распределения мощности в ВШД, цепочка шариков неподвижна, а корпус дифференциала вращается как единое целое с полуосями и перераспределяет мощность ( $N=M \cdot \omega$ ) поровну между колесами [3]. Экспериментальные исследования проводились на динамическом нагрузочном для испытаний веду-

щих мостов транспортных средств [4]. В серии испытаний ВШД производства ООО "ДАК" [5] было выявлено, что при установившемся режиме движения и одинаковой нагрузке на колеса 1000 Н коэффициент блокировки находится в диапазоне от 1 до 1,3. При дальнейшем исследовании установлено, что с ростом нагрузки на колеса коэффициент блокировки увеличивается, при одинаковой нагрузке на колеса 3000 Н коэффициент блокировки находится уже в диапазоне от 1,4–3,5. При разных установившихся режимах движения с одинаковой нагрузкой коэффициент блокировки не отклоняется от данных диапазонов.

При этом отношение частот вращения колес во всех испытаниях приблизительно равно 1, что способствует устойчивому прямолинейному движению автомобиля. Сумма моментов на колесах при этом равна  $M_{вх}$ , что еще раз доказывает, что дифференциал работает в заблокированном режиме.

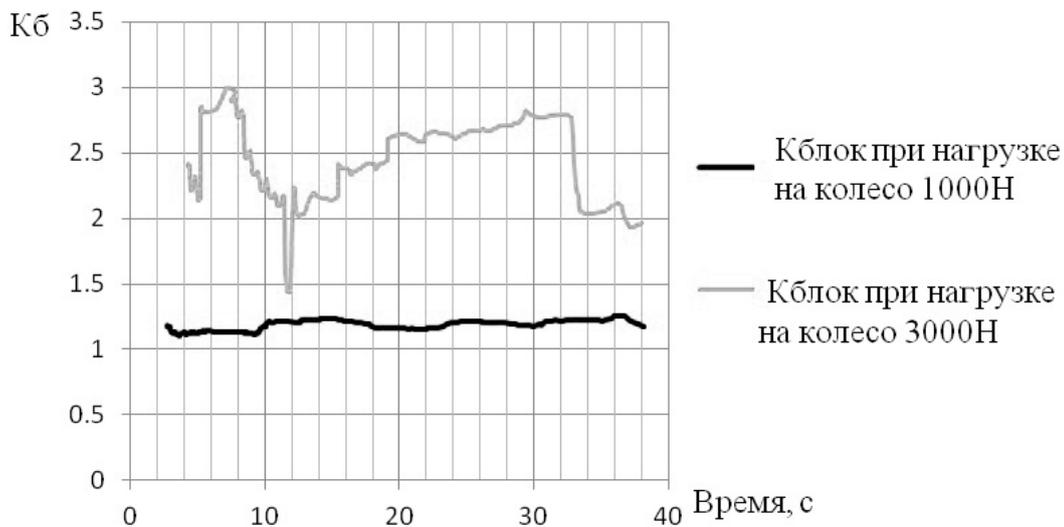


Рис. 1. Коэффициенты блокировки на прямолинейном установившемся режиме движения

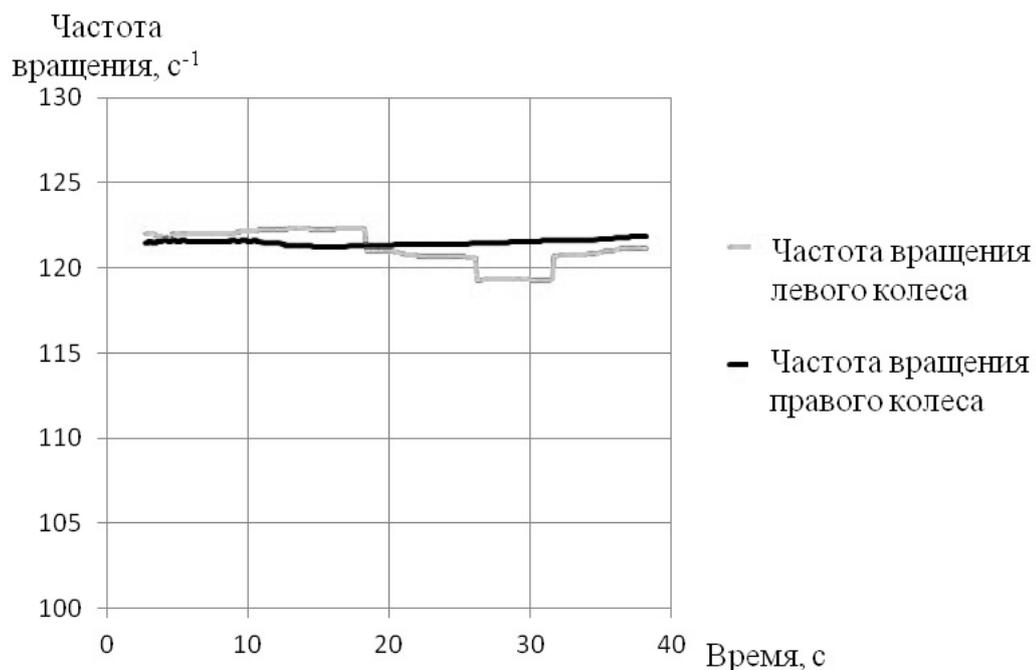


Рис. 2. Частота вращения колес при установившемся режиме движения с одинаковой нагрузкой на колеса

Тяговый режим исследовался при изменении частоты вращения входного вала от 0 до 500 мин<sup>-1</sup>, нагрузках на колеса 3000 Н. Характеристики, полученные в ходе проведения данного эксперимента, представлены на рис. 3, 4.

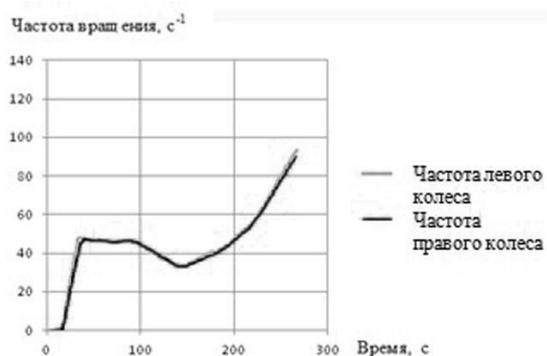


Рис. 3. Частота вращения

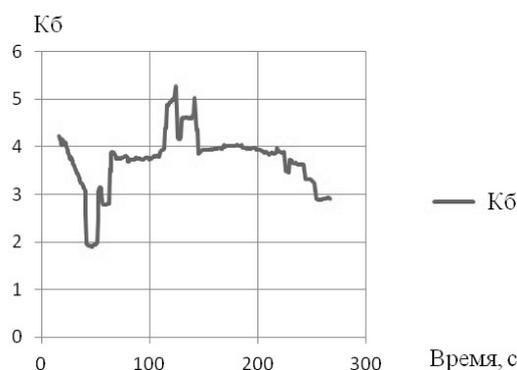


Рис. 4. Коэффициент блокировки

Представленные ранее зависимости показывают, что при движении в тяговом режиме в случае равномерного распределения нагрузки на ведущие колеса К<sub>б</sub> увеличивается в среднем до 4, а максимальное значение коэффициента блокировки достигает 5,5. При увеличении тяги двигателя отмечается возрастание внутреннего трения в дифференциале, что приводит к росту коэффициента блокировки дифференциала.

Наибольший интерес вызывают исследования работы ВШД при появлении бортовой неравномерности коэффициентов сцепления в случае прямолинейного движения.

Бортовая неравномерность коэффициентов сцепления колес с дорогой в тяговом режиме может вызвать занос в случае, если колеса "слабого" борта находятся в режиме буксования, при появлении разности угловых скоростей на колесах ведущих мостов автомобиля [6-8]. Как известно, ВШД отличается от обычного дифференциала тем, что при возникновении разницы нагрузки со стороны дорожного покрытия и со стороны тяги двигателя дифференциал блокируется. Блокировка ВШД позволяет обеспечить безопасное движение с высокой скоростью на магистральных дорогах и возможность уверенного движения на заснеженных и обледенелых дорогах, по неровному грунту.

В ходе работы исследовано движение автомобиля в тяговом режиме с различными силами коэффициентами сцепления ведущих колес при прямолинейном движении. Частота вращения входного вала изменялась от 0 до 500 мин<sup>-1</sup>, нагрузка на правое колесо составила 2500 Н, нагрузка на левое колесо 1000 Н. Характеристики, полученные в ходе проведения данного эксперимента, представлены на рис. 5, 6.

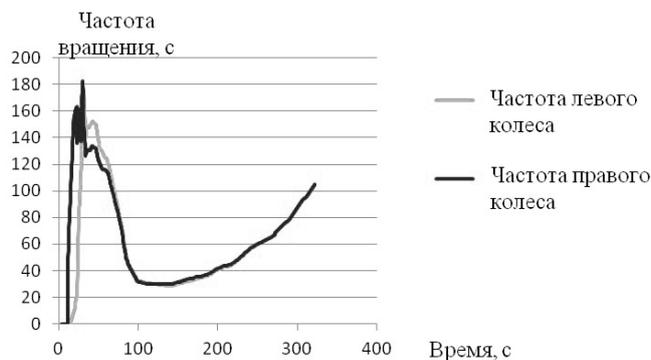


Рис. 5. Частоты вращения

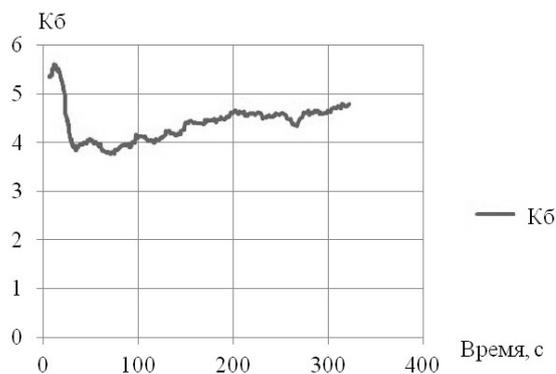


Рис. 6. Коэффициент блокировки

При движении с места автомобиля с различными нагрузками на колесах наблюдается переходный период, сопровождающийся ростом  $K_6$ , после выравнивания частот вращения колес значение  $K_6$  снижается и сохраняется на уровне достаточном для равномерного движения автомобиля в данных условиях.

Аналогичные исследования проводили и для работы дифференциала при моделировании движения автомобиля на повороте и в условиях маневрирования.

В рассмотренном эксперименте моделируется движение автомобиля на повороте с постоянной скоростью и одинаковыми нагрузками на колесах с радиусом 8 м, частота вращения входного вала  $500 \text{ мин}^{-1}$ , нагрузка на ведущие колеса 2500 Н. Полученные характеристики для данного режима изображены на рис. 7, 8.

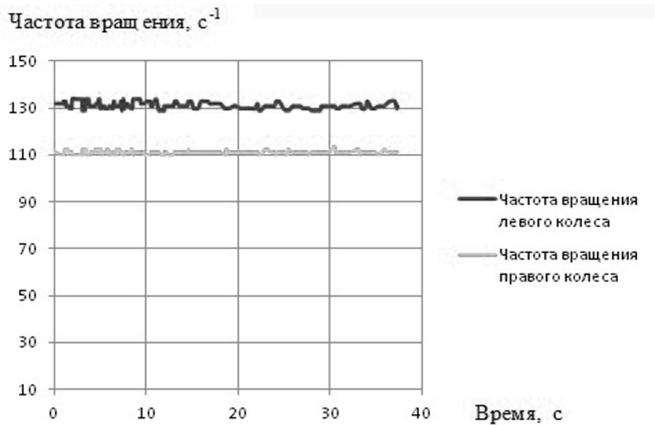


Рис. 7. Частоты вращения

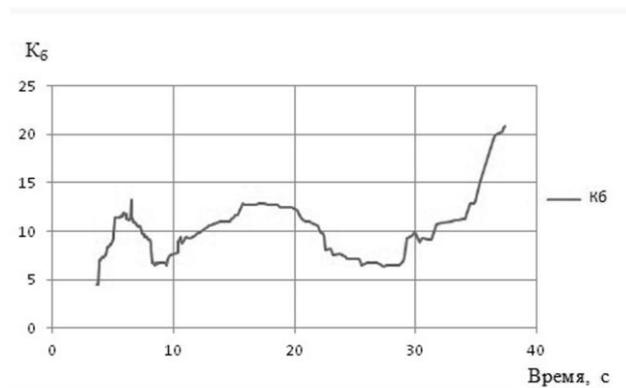


Рис. 8. Коэффициент блокировки

Представленные выше зависимости показывают, что при выполнении поворота с постоянной скоростью работа дифференциала обеспечивает постоянную разность частот вращения колес. Значение коэффициента блокировки данного дифференциала возрастает  $K_6$ , и перераспределяет крутящий момент на отстающее колесо, что повышает устойчивость автомобиля, неблагоприятно сказывается на прохождении поворотов, маневрировании и снижает ресурс дифференциала и элементов трансмиссии.

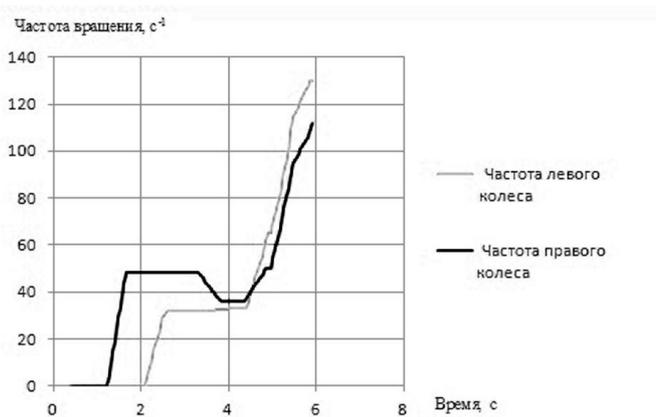


Рис. 9. Частоты вращения

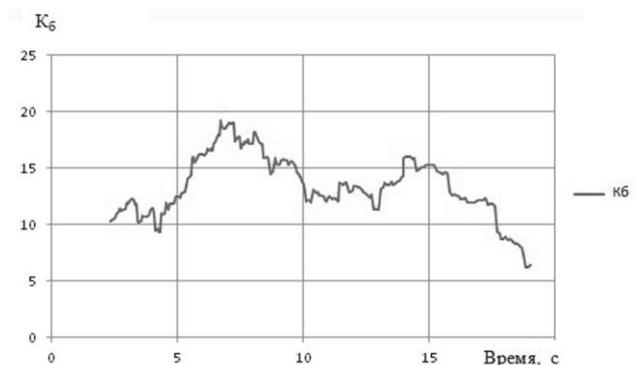


Рис. 10. Коэффициент блокировки

Следующим этапом стало испытание дифференциала при моделировании прохождения автомобилем поворота заданного радиуса с ускорением. Полученные в ходе этого эксперимента характеристики дифференциала во многом определяют его работу на всех режимах движения автомобиля, так как наиболее характерным режимом движения является равноускоренное либо равнозамедленное криволинейное движение. Полученные характеристики

представлены на рис. 9, 10. Во время проведения исследования нагрузка на ведущих колесах составляла 2000 Н, частота вращения входного вала увеличивалась от 0 до 500 мин<sup>-1</sup>.

В начале эксперимента наблюдается буксование одного из колес, после чего разница частот вращения становится постоянной. При данном режиме движения вновь наблюдается высокий Кб, оказывающий негативное влияние на движение автомобиля в повороте.

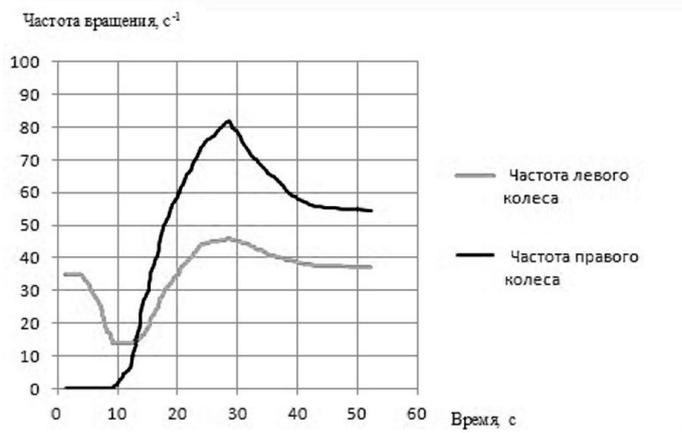


Рис. 11. Частоты вращения

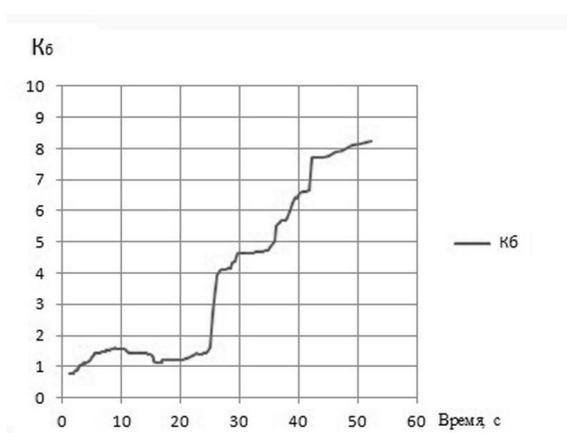


Рис. 12. Коэффициент блокировки

Далее рассмотрим движение автомобиля в повороте с ускорением и различными нагрузками на ведущих колесах. Условия проведения эксперимента: частота вращения входного вала изменяется 0 до 500 мин<sup>-1</sup>, нагрузка на правое колесо 1700 Н, на левое колесо — 1500 Н. Радиус поворота 6,5 м. Полученные зависимости представлены на рис. 11, 12. В данном случае забегающее колесо имеет большую заданную нагрузку, и дифференциал перераспределяет больший крутящий момент на него, при этом крутящий момент возрастает с ростом частоты вращения входного вала. Это приводит к росту  $K_b$  с увеличением скорости движения и нежелательному нагружению трансмиссии.

Из изложенного можно сделать следующие выводы:

- ВШД является автоматической системой с обратной связью и реагирует на изменение дорожных условий путем установления оптимального значения  $K_b$ ;
- внутреннее трение в ВШД является положительным фактором воздействия на стабилизацию прямолинейного движения автомобиля, что благотворительно влияет на курсовую устойчивость автомобиля, но неблагоприятно влияет на маневрирование;
- с ВШД повышается проходимость автомобиля в сложных условиях движения за счет подвода большего крутящего момента к колесу, которое имеет лучшее сцепление с дорожным покрытием;
- результаты испытаний и экспертные оценки свидетельствуют, что распределение мощности в ВШД обеспечивает достаточную сбалансированность при движении автомобиля таких характеристик, как проходимость, управляемость и устойчивость.

Аналогичные исследования будут проведены в реальных дорожных условиях с использованием автомобиля УАЗ. Изучение данных процессов позволит выявить недостатки алгоритма работы ВШД и в последующем будут сформулированы предложения по совершенствованию процесса работы дифференциала для повышения комфорта и безопасности движения автомобиля.

#### Библиографический список

1. Круташов, А.В. Исследование влияния особенностей работы комплекса дифференциалов повышенного трения на устойчивость движения легкового полноприводного автомобиля / А.В. Круташов, Д.А. Федирко // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты раз-

- вития и подготовка кадров: материалы международной научно-технической конференции ААИ», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ». – М.: МГТУ «МАМИ», 2010. С. 209–2011.
2. **Круташов, А. В.** Методы формирования рационального распределения мощности в трансмиссии легкового полноприводного автомобиля: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03; [Место защиты: Моск. гос. техн. ун-т (МАМИ)] / Круташов, А. В. – М., 2009. – 136 с.
  3. «ДАК» Дифференциалы автоматические Красикова: [Электронный ресурс]. Челябинск, 2005-2014. URL: <http://www.dak4x4.com>. (Дата обращения: 18.02.2014).
  4. Рабочие процессы механизмов распределения мощности ведущих мостов: [Электронный ресурс]. Челябинск, 2005-2014. URL: [http://labstand.ru/catalog/avto/03\\_01\\_00\\_02\\_alk\\_rabochie\\_protssesy\\_mekhanizmov\\_raspredeleniya\\_moshchnosti\\_vedushchikh\\_mostov\\_4989/#](http://labstand.ru/catalog/avto/03_01_00_02_alk_rabochie_protssesy_mekhanizmov_raspredeleniya_moshchnosti_vedushchikh_mostov_4989/#). (Дата обращения: 18.02.2014).
  5. Пат. 2319875 Рос. Федерация: МПК F16H48/20 Самоблокирующийся дифференциал транспортного средства / Красиков В.Н.; заявитель и патентообладатель Красиков В.Н. – 2005137272/11; заявл. 30.11.2005; опубл. 20.03.2008.
  6. **Келлер А.В.** Методологические принципы оптимизации распределения мощности между движителями колесных машин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2006. № 11 (66).
  7. **Келлер, А.В.** Принципы и методы распределения мощности между ведущими колесами автомобильных базовых шасси / А.В. Келлер, И.А. Мурог. – Челябинск, 2009. – 218 с.
  8. **Ксеневиц, И.П.** Наземные тягово-транспортные системы. Энциклопедия [Текст] / И.П. Ксеневиц, В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман; под общ. ред. И.П. Ксеневица. 2003. – 743 с.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**D.I. Istomin, A.V. Keller, A.A. Shelepov**

## **EVALUATION OF THE EFFECT OF SCREW-BALL DIFFERENTIAL WHEELED VEHICLE**

South ural state university  
(National research university)

In article the study was conducted self-blocked screw-ball differential on various modes of movement of the car. For each mode presented dependences of movement stated revolutions per minute of semi-axis and coefficient lock differential from time. The given dependences are received during tests at the dynamic loading stand.

*Key words:* screw-ball differential, self-locking differential, test differential, coefficient lock differentia.