

Рис. 6. Схема рабочего цикла автомобиля-лесовоза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Минюкович С.М., Шмелев А.В. Анализ результатов тензометрирования рамы автомобиля-самосвала при эксплуатации в карьере. Современные методы проектирования машин: Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Вып. 2. В 7 томах. – Т. 4. Надежность и ресурсное проектирование машин/ Под общ. Ред. П.А. Витязя. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. с. 168-172.
2. Бернацкий А.К., Высоцкий М.С., Горбачевич М. И. и др. Нагруженность балок осей автомобилей. – Минск: ИНДМАШ АН БССР, 1983. – 52 с.
3. Разработка методов испытания, прогнозирования и повышения усталостной долговечности ответственных деталей большегрузных автомобилей. Отчет о НИР/ИНДМАШ АН БССР; Рук., Е.К. Почтенный и А.А. Ракицкий. - № Г.Р. 80030724. Инв. №0285.0014992. – Минск, 1984. – 178 с.
4. Почтенный Е.К. Кинетика усталости машиностроительных конструкций. – Минск, УП «Арти-Фекс», 2002. – 187 с.
5. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин: Учеб. пособие для машиностр. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.
6. Дмитриченко С.С., Борисов Ю.С., Русанов О.А. Накопленные повреждения и характеристики сопротивления усталости узлов и деталей мобильных машин // Тракторы и сельскохозяйственные машин. 2003, №8. с 26-31.
7. Jono M. Fatigue damage and crack growth under variable amplitude loading with reference to the counting methods of stress-strain ranges. International Journal of Fatigue 27 (2005). p. 1006-1015.
8. Почтенный Е.К. Анализ и синтез усталости элементов конструкций // Доклады НАН Беларуси, 2002, №2. с. 105-107.
9. Жуков А.В. Теория лесных машин. Учебное пособие для студентов вузов. – Мн.: БГТУ, 2001. – 640 с.

УДК 629.114-587

*Дубовик Д.А., Николаев Ю.И., Брижанев В.М.***ПОВЫШЕНИЕ ПРОХОДИМОСТИ ВНЕДОРОЖНЫХ МАШИН ПУТЕМ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖКОЛЕСНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛА**

Введение. Проходимость является одним из основных эксплуатационных свойств внедорожных машин, непосредственно обеспечивающих их целевое назначение. Поэтому ведущие производители внедорожных машин для повышения эффективности своей продукции уделяют большое внимание улучшению как профильной, так и опорно-цепной проходимости.

Анализ научно-технической литературы показывает, что достижение высокой профильной проходимости обеспечивается величиной дорожного просвета, равной 0,45 м и более, углами переднего и заднего свеса свыше 30 град, высокими значениями продольного и поперечного радиусов проходимости, других геометрических параметров, характеризующих способность машины преодолевать различные препятствия.

С целью обеспечения высокой опорно-цепной проходимости на внедорожных машинах применяются широкопрофильные шины с регулируемым давлением воздуха, соответствующие типы подвесок колес, обеспечивается высокая удельная мощность машины для достижения высокой динамики движения. При этом опыт эксплуатации внедорожных машин свидетельствует о том, что проходимость определяется не столько максимальной величиной реализуемой их движителем общей касательной силы тяги, сколько распределе-

нием этой силы между ведущими мостами и колесами.

Для рационального распределения общей касательной силы тяги между ведущими мостами и колесами в конструкции внедорожных машин используются дифференциалы, работа которых основана на блокировании привода ведущих колес. В задних ведущих мостах широко применяются самоблокирующиеся дифференциалы свободного хода, в качестве межосевых и межтележечных дифференциалов используются дифференциалы с блокировкой, управляемой водителями [1].

Однако данные дифференциалы в случае блокирования привода при криволинейном движении колесных машин создают в плоскости дороги момент сопротивления повороту и вместе с тем ухудшают их поворачиваемость и управляемость.

Целью настоящей работы является разработка метода распределения крутящих моментов между ведущими колесами для повышения проходимости внедорожных машин при сохранении удовлетворительного уровня управляемости и его реализация в дифференциале повышенного трения управляемых мостов.

Ступенчатая характеристика блокирующих свойств. Характерной особенностью внедорожных машин является предъявление к их приводу ведущих колес противоречивых

Дубовик Дмитрий Александрович, к.т.н., зам. генерального директора по научной работе, директор НТЦ по автотракторной электронике и электромеханике Научно-инженерного республиканского унитарного предприятия "Белавтотракторостроение" Национальной академии наук Беларуси.

Николаев Юрий Иванович, главный конструктор Производственного республиканского унитарного предприятия "Минский завод колесных тягачей".

Брижанев Владимир Михайлович, начальник КБ мостов Производственное республиканское унитарное предприятие "Минский завод колесных тягачей".

требований. Так, с одной стороны, привод ведущих колес должен гарантировать внедорожной машине необходимый уровень маневренности, поворачиваемости и управляемости в транспортном потоке на дорогах общего назначения, а также в местах погрузки и разгрузки. С другой стороны, привод ведущих колес должен обеспечивать мобильность машины, высокую проходимость и тягово-скоростные свойства при движении вне дорог.

Противоречивость предъявляемых требований обосновывает необходимость разработки "гибких" механических систем привода ведущих колес, способных в зависимости от условий эксплуатации машин повышать уровень реализации тех или иных эксплуатационных свойств.

Анализ условий эксплуатации внедорожных машин [2] в качестве улучшенной характеристики привода ведущих колес позволяет предложить ступенчатую характеристику блокирующих свойств с тремя характерными участками, приведенную на рис. 1.

Участок I ступенчатой характеристики соответствует нормальной разгрузке и возможному вывешиванию одного из колес моста, в результате чего крутящий момент M_0 уменьшается до значений, ниже пороговой величины M_{01} . При этом, для перераспределения крутящего момента к опорному колесу моста с целью обеспечения мобильности машины характеристика предусматривает использование заблокированного привода.

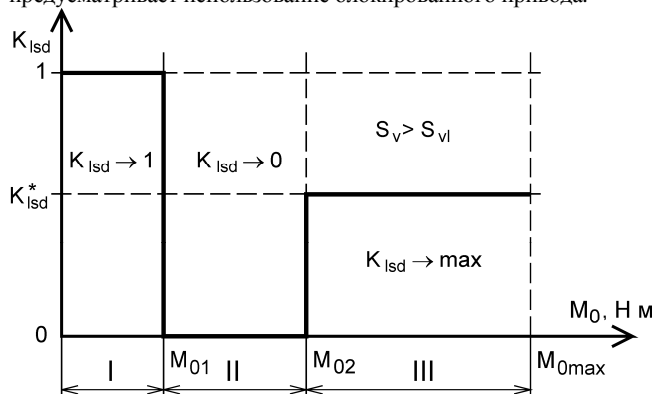


Рис. 1. Ступенчатая характеристика блокирующих свойств привода ведущих колес

Изменение момента M_0 в диапазоне нагрузок от M_{01} до M_{02} соответствует участку II характеристики и движению внедорожной машины по твердым дорожным покрытиям и грунтовым поверхностям удовлетворительного состояния, на которых для достижения высоких опорной проходимости и тягово-скоростных свойств от привода ведущих колес не требуется реализация высоких блокирующих свойств. Для достижения наилучшей управляемости характеристика предполагает использование простого дифференциального привода ведущих колес.

Тяжелые условия эксплуатации при движении внедорожной машины по разбитым грунтовым поверхностям и бездорожью, характерные значения крутящего момента M_0 выше M_{02} , описываются участком III ступенчатой характеристики. На данном участке требуется реализация оптимального значения показателя $K_{l_{sd}}^*$ [3], обеспечивающего высокие опорную проходимость и тягово-скоростные свойства при сохранении удовлетворительного уровня управляемости.

Для обеспечения удовлетворительной управляемости машины на участке III показатель $K_{l_{sd}}^*$ ограничивался пороговой величиной S_{vl} критерия управляемости:

$$S_v = 1 - \frac{\int_t |K_n - K_r| dt}{\int_t |K_n| dt}, \quad (1)$$

где K_n — кривизна траектории движения колесной машины с нейтральной поворачиваемостью;

K_r — кривизна действительной траектории движения.

Для реализации ступенчатой характеристики привода колес управляемых мостов разработана конструктивная схема дифференциала повышенного трения. На основе разработанной конструктивной схемы были спроектированы и изготовлены опытные образцы дифференциалов для управляемых мостов внедорожных машин Минского завода колесных тягачей (рис. 2), а также проведены их стендовые и эксплуатационные испытания.



Рис. 2. Дифференциал повышенного трения с улучшенной характеристикой блокирующих свойств в разобранном виде

Методика проведения испытаний. Для оценки блокирующих свойств в настоящей работе использовался показатель промежуточного положения $K_{l_{sd}}$, определяемый отношением крутящего момента, перераспределяемым оцениваемым дифференциалом, к крутящему моменту, перераспределяемому механизмом заблокированного привода [4]. Данный показатель позволяет в процентном отношении оценить блокирующие свойства привода на всем рабочем диапазоне нагрузок, чем выгодно отличается от известных показателей блокирующих свойств [1].

В задачи проведенных испытаний также входили исследование симметричности и стабильности блокирующих свойств разработанного дифференциала. В качестве показателя симметричности блокирующих свойств использовался показатель на основе $K_{l_{sd}}$, определяемый выражением следующего вида:

$$K_{l_{sd}}^{sym} = 1 - \left| K_{l_{sd}}' - K_{l_{sd}}'' \right|, \quad (2)$$

где $K_{l_{sd}}'$ и $K_{l_{sd}}''$ — показатели блокирующих свойств дифференциала $K_{l_{sd}}$ при нагружении большим моментом левой и правой полуоси (знаки ' и '' относятся к левой и правой полуосям соответственно).

Проводились исследования стабильности блокирующих свойств разработанного дифференциала к скорости скольжения фрикционных дисков. В качестве показателя стабильности блокирующих свойств использовался следующий показатель:

$$K_{l_{sd}}^{st} = 1 + K_{l_{sd}}^{min} - K_{l_{sd}}^{max}, \quad (3)$$

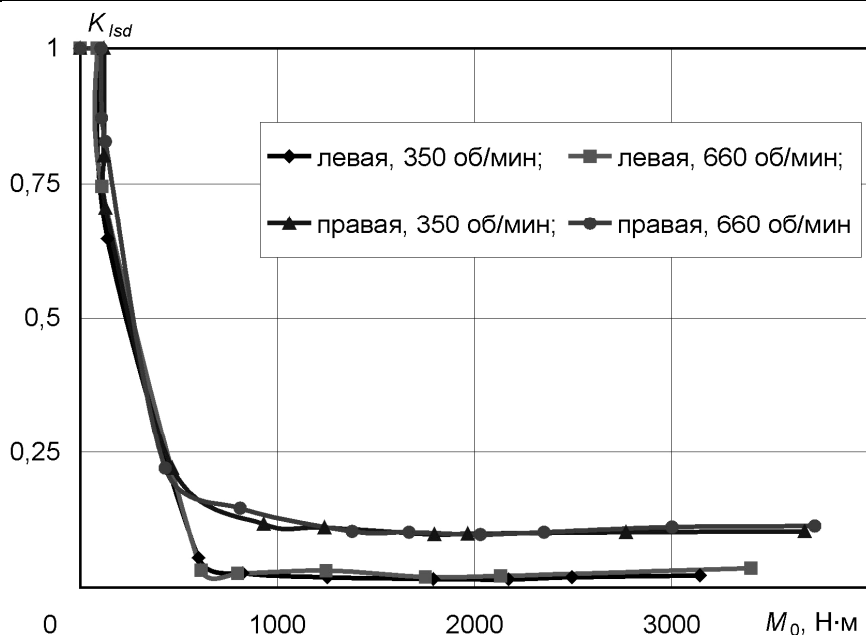


Рис. 3. Результаты стендовых исследований

где K_{Isd}^{max} и K_{Isd}^{min} — максимальное и минимальное значения показателя K_{Isd} из общего числа при фиксированной величине крутящего момента на корпусе дифференциала для различных значений скорости скольжения фрикционных дисков.

Результаты стендовых исследований. Стендовые испытания включали экспериментальные исследования дифференциалов в интервале крутящих моментов M_0 на корпусе дифференциала от 0 до 3 700 Н·м, максимальное значение которого ограничивалось мощностью нагружающей балансирной машины и герметичностью гидравлического контура нагружающего устройства стендовой установки.

Для определения показателя K_{Isd} блокирующих свойств разработанного дифференциала использовалась общепринятая методика [1]. После запуска стенда в работу одна из полуосей дифференциала затормаживалась тормозным механизмом полностью, а другая нагружалась ступенчато. При этом, первая полуось оставалась все время неподвижной, а вторая вращалась. Изменение крутящего момента на корпусе дифференциала осуществлялось в результате подтормаживания вращающейся полуоси.

Испытаниями установлено, что в свободном состоянии и в интервале малых крутящих моментов M_0 исследуемый дифференциал повышенного трения надежно заблокирован как при поочередном нагружении обеих полуосей, так и при их растормаживании. Момент начала срабатывания дифференциала M_{01} составил в среднем 95 Н·м (рис. 3). Это говорит о равенстве единиц показателя K_{Isd} в интервале значений крутящих моментов M_0 от 0 до M_{01} , что подтверждает наличие в дифференциале повышенного трения участка I ступенчатой характеристики (рис. 1).

Данные экспериментальных исследований в области крутящих моментов на корпусе дифференциала свыше M_{01} свидетельствуют о том, что при увеличении крутящего момента M_0 от 95 до 600 Н·м показатель блокирующих свойств K_{Isd} снижается от 1 до 0,02...0,15. В интервале крутящих моментов M_0 свыше 600 Н·м показатель K_{Isd} находится в диапазоне малых значений (0,02; 0,15), близком к свойствам механизмов простого дифференциального привода [5], и остается практически постоянным. Данное, в свою очередь, подтверждает

наличие участка II ступенчатой характеристики блокирующих свойств.

Исследования симметричности блокирующих свойств дифференциалов повышенного трения позволили установить, что показатель симметричности K_{Isd}^{sym} превышает значение 90,8 % на всем исследованном интервале изменения крутящего момента на корпусе.

Экспериментальные характеристики стабильности блокирующих свойств дифференциалов при изменении скорости относительного скольжения дисков для остановленной левой и правой полуоси говорят о высоком уровне стабильности блокирующих свойств, оцениваемым значениями K_{Isd}^{st} не ниже 97 %. Следовательно, экспериментально установлено, что скорость относительного скольжения дисков в диапазоне от 5,5 до 10,5 рад/с, вызываемая движением машин МЗКТ с различными скоростями и кривизной траектории, не оказывает заметного влияния на рабочую характеристику разработанного дифференциала.

Таким образом, в ходе стендовых испытаний подтверждена работоспособность конструктивной схемы дифференциала повышенного трения и высокая степень соответствия его действительной характеристики ступенчатой характеристике блокирующих свойств в области малых и средних крутящих моментов на корпусе. Установлен также высокий уровень стабильности к скорости относительного скольжения дисков и симметричности блокирующих свойств.

Результаты эксплуатационных испытаний. Программа эксплуатационных испытаний включала исследование движения внедорожной машины МЗКТ-79091, оборудованной управляемыми мостами с разработанным дифференциалом повышенного трения, по прямолинейным и криволинейным траекториям ("прямая", "вход в поворот", "восьмерка"), преодоление препятствий на асфальтовой, бетонной и грунтовой опорной поверхности, а также буксование колес на месте в тяжелых опорно-цепных условиях.

Данные эксплуатационных испытаний подтвердили результаты стендовых исследований в области малых и средних крутящих моментов (рис. 4), а также позволили исследовать рабочую характеристику дифференциала в области больших крутящих моментов на корпусе.

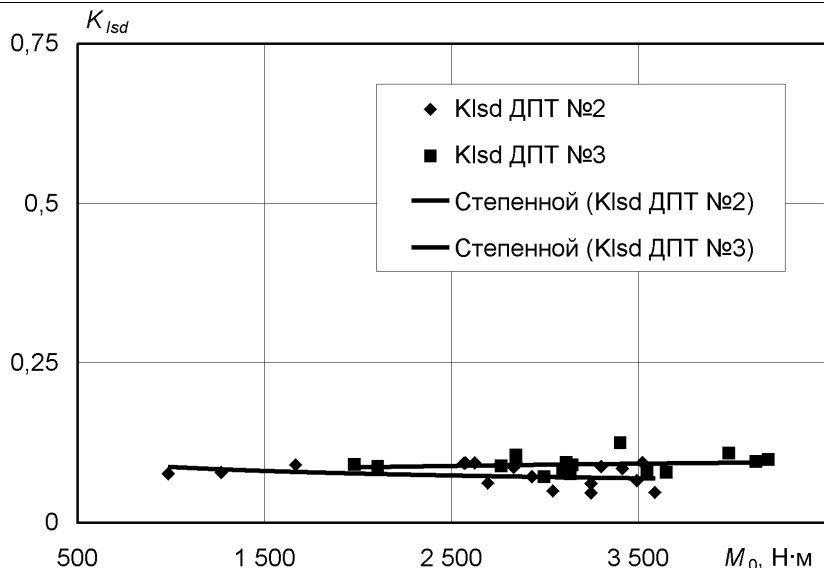


Рис. 4. Результаты эксплуатационных испытаний

Таблица 1. Минимальные радиусы поворота (в метрах) внедорожной машины МЗКТ-79091

Опорная поверхность	Состояние дифференциалов		
	Межтележечный дифференциал		
	Разблокирован		Заблокирован
	Межосевые дифференциалы передней и задней тележки		
	Разблокированы		Заблокированы
	1	2	3
Асфальт	12,8	13,0	13,7
Грунт	12,2	12,6	13,4

В ходе эксплуатационных испытаний были зафиксированы значения показателя блокирующих свойств K_{Isd} не ниже 0,32 при заблокированном состоянии дифференциала при осуществлении буксования ведущих колес внедорожной машины на месте. Данный факт характеризует реализацию ведущими колесами управляемых мостов дополнительного крутящего момента и повышение проходимости внедорожной машины на 15...46 %, а также подтверждает наличие участка III ступенчатой характеристики.

Исследования криволинейного движения машины МЗКТ-79091 показали, что минимальный радиус ее поворота составляет 12,8 и 12,2 м на асфальтовом дорожном покрытии и грунтовой опорной поверхности удовлетворительного состояния, соответственно. Полученные величины минимального радиуса (табл. 1) не превышают значения, регламентируемого техническим заданием на машину, и тем самым гарантируют требуемый уровень ее управляемости.

Численные значения показателя управляемости S_v (1) представлены диаграммой, приведенной на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что показатель S_v в зависимости от режимов блокирования межосевых и межтележечного дифференциалов составляет от 71 до 76 % на асфальтовой опорной поверхности и от 72 до 80 % на грунтовой опорной поверхности.

Работа дифференциала повышенного трения, как известно, основана на трении его рабочих поверхностей, которое сопровождается выделением дополнительной теплоты внутри оборудуемых ими редукторов. Для подтверждения возможности установки разработанных дифференциалов в редукторы управляемых ведущих мостов машин МЗКТ вместо серийных обычных конических дифференциалов с позиции сохранения нормального температурного режима масла редукторов мо-

стов в ходе эксплуатационных испытаний проводились также измерения температуры масла в поддонах этих редукторов.

Перед началом испытаний машина находилась в боксе Испытательного центра Минского завода колесных тягачей. Температура окружающего воздуха и начальная температура масла в поддонах редукторов составляла 6 °С.

Испытания на асфальтовом дорожном покрытии проводились без предварительного прогревочного пробега машины. Они выполнялись в объеме программы испытаний и включали движение машины в течение 0,42...0,45 ч со средней скоростью 15...17 км/ч. После окончания экспериментов на асфальте температура масла в поддонах редукторов обоих мостов не превышала 14 °С.

Перед проведением исследований на грунте осуществлялся предварительный прогревочный пробег машины к месту испытаний. Пробег включал движение в течение 0,75 ч со скоростями от 40 до 70 км/ч по асфальтобетонной дороге, грунтовой дороге удовлетворительного состояния и разбитой и пересеченной местности (бездорожью). После прогревочного пробега непосредственно перед испытаниями температура масла составляла 38...40 °С. После выполнения программы испытаний температура масла в обоих редукторах не превышала 39...42 °С. При этом, различие температуры масла в редукторах первого и второго мостов не превышало 2...3 °С. Более высокие значения наблюдались в поддоне редуктора второго моста.

Таким образом, в ходе эксплуатационных испытаний установлена высокая степень соответствия действительной рабочей характеристики разработанного дифференциала ступенчатой характеристике блокирующих свойств на всем диапазоне нагрузок. Подтверждена возможность установки разработанного дифференциала в ведущие мосты машин Минского завода колесных тягачей.

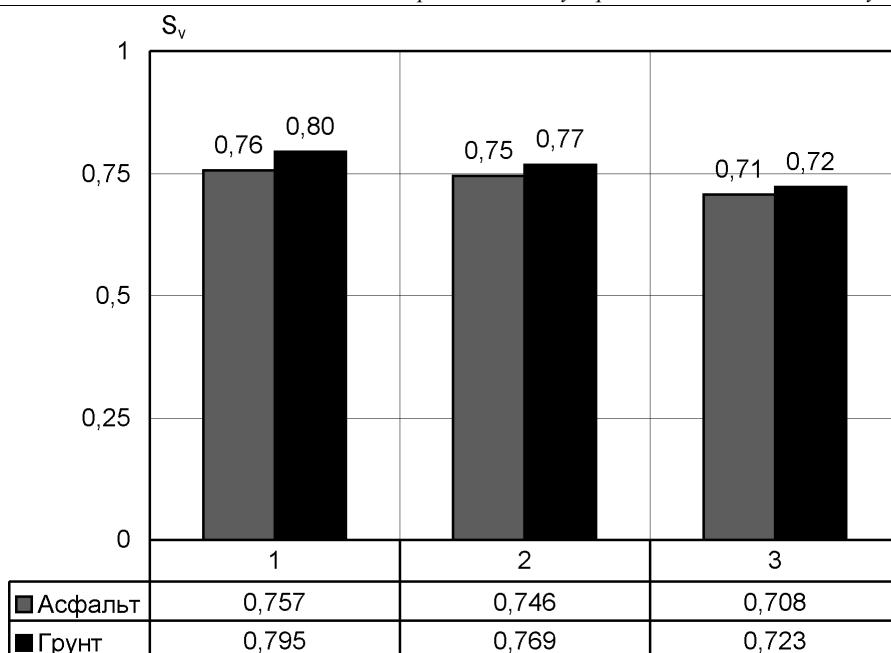


Рис. 5. Диаграмма показателя управляемости S_v внедорожной машины МЗКТ-79091 в зависимости от состояния блокирования межосевых и межтележечного дифференциалов:

1 – разблокированы все дифференциалы;

2 – заблокированы межосевые дифференциалы передней и задней тележки;

3 – заблокированы межосевые дифференциалы передней и задней тележки и межтележечный дифференциал раздаточной коробки

Для оценки эффективности и ресурсных свойств разработанного дифференциала при эксплуатации в условиях стран потенциальных потребителей внедорожной техники Минского завода колесных тягачей проводилась оценка технических и эксплуатационных свойств специального шасси МЗКТ-790986 в составе эвакуатора ЕНТС 53000 фирмы EMPL (Австрия) в Объединенных Арабских Эмиратах. В управляемые мосты передней тележки специального шасси были установлены опытные образцы разработанного дифференциала повышенного трения.

Пробег шасси в ходе испытаний в Объединенных Арабских Эмиратах составил 1 436 км. Из них 64 км по песчаным барханам, 100 км по гравийной местности, 1 272 по асфальтовой дороге. Потери проходимости при движении по песчаным барханам за время испытаний не наблюдалось. Влияние дифференциалов повышенного трения на проходимость по песчаным барханам оценено положительно.

Таким образом, эксплуатационные испытания в проведенном объеме подтвердили работоспособность разработанного дифференциала повышенного трения и эффективность его использования в ведущих мостах внедорожных машин Минского завода колесных тягачей.

Заключение. Распределение крутящих моментов между ведущими колесами следует осуществлять в соответствии со ступенчатой характеристикой блокирующих свойств, предусматривающей использование заблокированного привода в случае вывешивания одного из приводимых колес, простого дифференциального привода при движении машины по дорогам с твердым покрытием и требуемого значения показателя блокирующих свойств при движении по разбитым грунтовым дорогам и бездорожью.

В ходе проведенных исследований определена действительная рабочая характеристика разработанного дифференци-

ала повышенного трения и установлена высокая степень ее соответствия ступенчатой характеристике блокирующих свойств с тремя характерными участками.

Экспериментально подтверждены работоспособность разработанного дифференциала повышенного трения с улучшенной характеристикой блокирующих свойств и его эффективность, которая реализуется в повышении на 15-46 % проходимости внедорожной машины при эксплуатации в тяжелых дорожных условиях и обеспечении удовлетворительной управляемости при движении по усовершенствованным дорожным покрытиям.

Разработанный дифференциал освоен в серийном производстве и устанавливается в управляемые мосты новых моделей внедорожных машин, выпускаемых Минским заводом колесных тягачей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андреев А.Ф., Ванцевич В.В., Лефаров А.Х. Дифференциалы колесных машин / Под общ. ред. А.Х. Лефарова. – М.: Машиностроение, 1987. – 176 с.
2. Улучшенная характеристика блокирующих свойств привода колес управляемых мостов внедорожной машины / В.В. Ванцевич, Д.А. Дубовик, А.Ф. Андреев и др. // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 19-21.
3. Энергонагруженность и надежность дифференциальных механизмов транспортно-тяговых машин / А.Х. Лефаров, М.С. Высоцкий, В.В. Ванцевич, В.И. Кабанов. – Минск: Наука и техника, 1991. – 240 с.
4. Дубовик Д.А. Повышение проходимости внедорожной машины посредством рационального привода колес управляемых мостов: Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Минск, 2003. – 253 с.
5. Лефаров А.Х. Дифференциалы автомобилей и тягачей. – М.: Машиностроение, 1972. – 232 с.