

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-568179>

Оригинальное исследование



Оценка технико-экономической эффективности управляемого распределения мощности в трансмиссиях полноприводных грузовых автомобилей

А.В. Келлер^{1,2}, А.В. Попов³, И.Ю. Окольнишникова⁴¹ Социоцентр, Москва, Российская Федерация;² Московский политехнический университет, Москва, Российская Федерация;³ Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт (НАМИ), Москва, Российская Федерация;⁴ Государственный университет управления, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Условия эксплуатации полноприводных грузовых автомобилей определяют вероятность движения в условиях неравномерного распределения сцепления и сопротивления качению под ведущими колесами различных мостов и бортов, что актуализирует перераспределение крутящего момента от двигателя к ведущим колесам. Для повышения эффективности полноприводных автомобилей особенно важно рациональное распределение мощности между ведущими мостами и колесами.

Цель работы — оценка технико-экономической эффективности управляемого распределения мощности в трансмиссиях полноприводных грузовиков с гидравлически управляемыми фрикционными муфтами.

Методы. Проведена серия экспериментов на базе КАМАЗ-65222 с системой управления блокировкой дифференциалов фрикционными муфтами с гидравлическим приводом и измерительно-регистрирующим комплексом. Техническая эффективность управления дифференциалами при движении в различных дорожных условиях оценивалась по времени разгона автомобиля, средней скорости прямолинейного движения и при выполнении маневра, параметрам опорной проходимости, топливной экономичности и сравнительной нагруженности привода ведущих колес.

Результаты. Эксперимент подтвердил эффективность алгоритма автоматического управления блокировкой дифференциалов в трансмиссии автомобиля с точки зрения проходимости, нагруженности и топливной экономичности. Зафиксировано повышение до 16,7% средней скорости движения в сложных дорожных условиях, снижение удельной работы, затрачиваемой на преодоление сопротивления качению, а также сокращение на 7–8% расхода топлива.

Заключение. Оценка эффективности решений по управлению дифференциалами в трансмиссии полноприводного грузового автомобиля показала существенное увеличение скоростных свойств, проходимости и топливной экономичности. Автоматическое изменение степени блокировки дифференциалов в трансмиссии при движении по криволинейной траектории и по неровной поверхности оказало положительное влияние на надежность трансмиссии и топливную экономичность, обеспечив сохранение базовых параметров устойчивости и маневренности. Ожидаемый экономический эффект — более 206, 3 тыс. руб. в год на 1 автомобиль.

Ключевые слова: автомобильный транспорт; грузовые автомобили; полноприводные грузовые автомобили; трансмиссии полноприводных грузовых автомобилей; системы распределения мощности полноприводных грузовых автомобилей; управляемое распределение мощности в трансмиссиях.

Как цитировать:

Келлер А.В., Попов А.В., Окольнишникова И.Ю. Оценка технико-экономической эффективности управляемого распределения мощности в трансмиссиях полноприводных грузовых автомобилей // Известия МГТУ «МАМИ». 2023. Т. 17, № 3. С. 251–260. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-568179>

Рукопись получена: 09.08.2023

Рукопись одобрена: 01.09.2023

Опубликована онлайн: 15.10.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-568179>

Original study article

Evaluation of the technical and economic efficiency of controlled power distribution in transmissions of all-wheel drive trucks

Andrey V. Keller^{1, 2}, Andrey V. Popov³, Irina Yu. Okolnishnikova⁴¹ Sociological Research Center, Moscow, Russian Federation;² Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation;³ Central Scientific and Research Institute of Automobiles and Automotive Engines "NAMI", Moscow, Russian Federation;⁴ State University of Management, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Operating conditions of all-wheel drive trucks determine the probability of motion in conditions of uneven distribution of grip and rolling resistance for driven wheels of various axles and sides, which actualizes torque redistribution from an engine to the driven wheels. Reasonable power distribution between driven axles and wheels is important in order to improve the efficiency of all-wheel drive vehicles.

AIMS: Evaluation of technical and economic efficiency of controlled power distribution in transmissions of all-wheel drive trucks with hydraulically controlled friction clutches.

METHODS: A series of experiments was carried out on the basis of the KAMAZ-65222 with a differential lock control system with hydraulically driven friction clutches and a measuring and recording facility. The technical efficiency of control on differentials when driving in various road conditions was evaluated by the acceleration duration of the vehicle, the average speed of straight-line movement and when performing a maneuver, the parameters of the ground clearance, fuel efficiency and comparative loading of the wheels drive.

RESULTS: The experiment confirmed the effectiveness of the algorithm for automatic control of the differential lock in the vehicle transmission in terms of cross-country abilities, workload and fuel efficiency. An increase up to 16.7% of the average speed in difficult road conditions, a decrease of the specific work of rolling resistance overcoming and a decrease in fuel consumption by 7–8% were recorded.

CONCLUSION: Evaluation of efficiency of solutions for control on differentials in transmission of an all-wheel drive truck showed a significant increase in dynamic properties, cross-country abilities and fuel efficiency. Automatic change of the lock degree of differentials in the transmission when driving on a curved path and on uneven surface has a positive effect on transmission reliability and fuel efficiency, ensuring stability and maneuverability to remain stable. The expected economic effect is more than 206.3 thousand rubles. per year for one vehicle.

Keywords: motor transport; trucks; all-wheel drive trucks; transmissions of all-wheel drive trucks; power distribution systems of all-wheel drive trucks; controlled power distribution in transmissions.

To cite this article:

Keller AV, Popov AV, Okolnishnikova IYu. Evaluation of the technical and economic efficiency of controlled power distribution in transmissions of all-wheel drive trucks. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2023;17(3): 251–260. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-568179>

Received: 09.08.2023

Accepted: 01.09.2023

Published online: 15.10.2023

ВВЕДЕНИЕ

Особенностью применения грузовых автомобилей в России является невысокая плотность дорожной сети и недостаточная доля дорог с твердым покрытием [1, 2]. В результате более половины автоперевозок осуществляется по грунтовым дорогам и автозимникам, которые в распутицу становятся труднопроходимыми. Как следствие, в России около 17% всего парка грузовиков составляют полноприводные грузовые автомобили [3]. Они активно используются во всех ключевых отраслях экономики и сферах государственного управления, имеют важное значение в перевозке грузов и выполнении технологических операций в районах Арктики, Дальнего Востока и Сибири [4–6].

Анализ условий эксплуатации полноприводных грузовых автомобилей показывает высокую вероятность их движения в условиях неравномерного распределения сцепления и сопротивления качению под ведущими колесами как различных мостов, так и бортов [7]. Это определяет необходимость постоянного перераспределения крутящего момента, подводимого от двигателя к ведущим колесам. Для достижения необходимого и достаточного уровня эффективности полноприводных автомобилей во всем диапазоне природно-климатических и дорожных условий важно дальнейшее развитие схемы полного привода, в том числе, путем рационального распределения мощности между ведущими мостами и колесами автомобиля [8].

ЦЕЛЬ

Перспективным направлением управления блокировкой дифференциалов полноприводных грузовиков является использование дифференциалов с гидравлически управляемыми фрикционными муфтами [9, 10]. Вместе с тем, для эффективного и безопасного применения в трансмиссиях полноприводных грузовых автомобилей дифференциалов с гидравлически управляемыми фрикционными муфтами необходимы исследования, обосновывающие технико-экономическую эффективность управляемого распределения мощности в трансмиссиях полноприводных грузовых автомобилей. Это и стало целью настоящего исследования.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения цели исследования на базе автомобиля КАМАЗ-65222 был изготовлен экспериментальный образец автомобиля с системой управления блокировкой дифференциалов на основе фрикционных муфт с гидравлическим приводом. Автомобиль был оснащен системой управления блокировкой дифференциалов фрикционными муфтами с гидравлическим приводом и измерительно-регистрающим комплексом (рис. 1).

Экспериментальная система управления распределением мощности в трансмиссии представляет собой систему гидромеханических и программно-аппаратных элементов, реализующих автоматическое управление распределением мощности между ведущими колесами грузового автомобиля на основе блокирования дифференциалов трансмиссии (рис. 2).

Для непосредственной блокировки дифференциалов трансмиссии на экспериментальном автомобиле были установлены фрикционные муфты с гидравлическим приводом для:

- блокировки межколесных дифференциалов переднего, среднего и заднего мостов;
- блокировки межосевого дифференциала раздаточной коробки;
- блокировки межтележного дифференциала среднего моста.

В качестве программно-аппаратной платформы системы распределения мощности была использована микроконтроллерная система. Функционируя совместно со штатной системой АБС/ПБС, она дала возможность подключения дополнительных датчиков и исполнительных элементов, а также позволила обмениваться информацией с другими электронными устройствами при помощи CAN-шины [11]. Контроллер системы управления обрабатывал полученные с датчиков значения, производил их анализ и осуществлял управление электропневматическими модуляторами давления в тормозной системе, а также электрогидравлическими клапанами гидропривода блокировки дифференциала.

Для решения задач экспериментального исследования испытания проводились в различных дорожных условиях на КАМАЗ-65222 в штатной комплектации и оснащенной экспериментальной системой управления распределением мощности. Техническая эффективность управления дифференциалами при движении в различных дорожных условиях оценивалась с учетом рекомендаций работ [12–14] по времени разгона автомобиля на заданной передаче, средней скорости маневра при повороте с радиусом 25 м, параметрам опорной проходимости, топливной экономичности и сравнительной нагруженности привода ведущих колес.

Оценка эксплуатационных свойств автомобиля при движении в различных дорожных условиях проводилась в два этапа.

На первом этапе оценивались время разгона автомобиля на третьей передаче до максимальной скорости, средняя скорость маневра при повороте с радиусом 25 м, а также среднее время преодоления участка разбитой грунтовой дороги протяженностью 1,5 км.

На втором этапе проводились испытания при движении по труднопроходимым участкам снежной целины, оттаявшего суглинка, сухого сыпучего песка и грунтовым дорогам различного состояния.

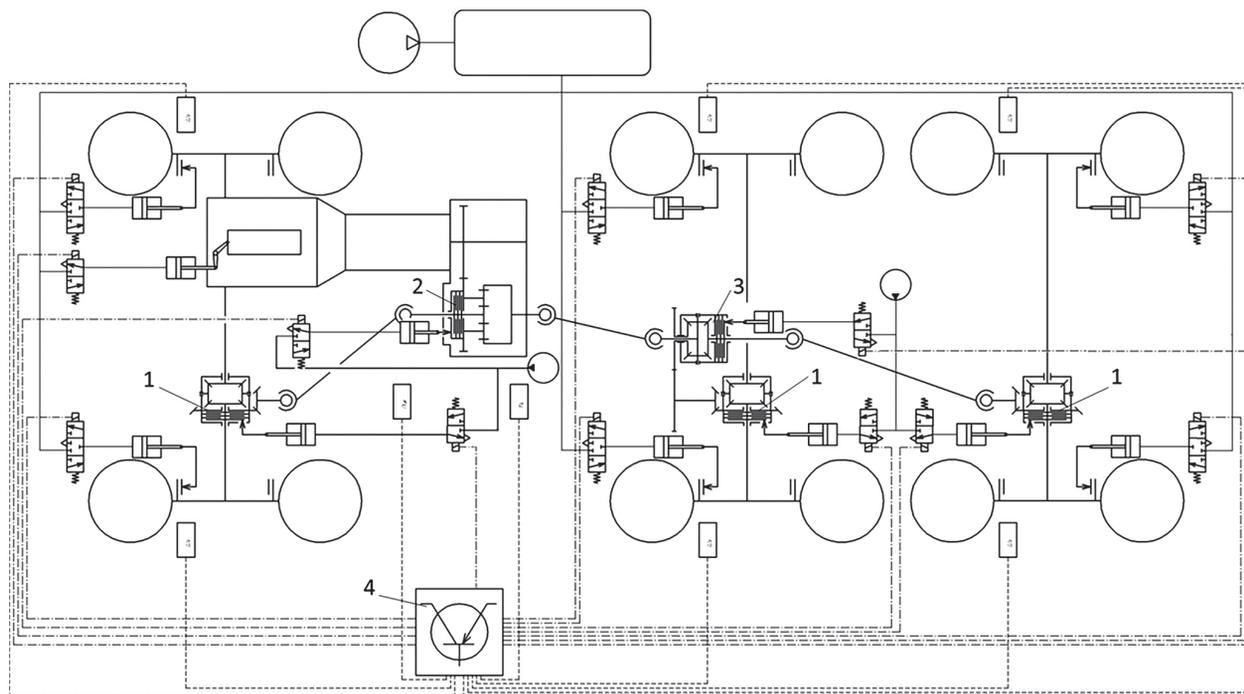


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной системы управления распределением мощности: 1 — фрикционные муфты блокировки межколесных дифференциалов с гидравлическим приводом; 2 — фрикционная муфта блокировки межосевого дифференциала с гидравлическим приводом; 3 — фрикционная муфта блокировки межтележного дифференциала с гидравлическим приводом; 4 — система управления с измерительно-регистрирующим комплексом.

Fig. 1. Schematic diagram of the experimental power distribution control system: 1 — friction clutches for blocking interwheel differentials with a hydraulic drive; 2 — a friction clutch blocking the interaxial differential with a hydraulic drive; 3 — a friction clutch for blocking the intercarrier differential with a hydraulic drive; 4 — a control system with measuring and recording facility.



Рис. 2. Гидромеханическая часть системы управления распределением мощности.

Fig. 2. The hydromechanical part of the power distribution control system.

Дорожные испытания в зимних условиях проходили при движении по труднопроходимым участкам снежной целины с проложенными в ней колеям, на замкнутых маршрутах длиной 3–4 км, при прямолинейном и круговом движении по снежной целине с глубиной снежного покрова 0,30–0,35 м с подстилающим слоем суглинистой пахоты, а также по заснеженной грунтовой дороге на полигоне в Сосновском районе Челябинской обл.

Исследование эффективности автоматической блокировки дифференциалов в условиях песчаной местности приводилось на участке сухого сыпучего песка влажностью около 4%, плотностью 1,6 г/см³ в районе п. Кременкуль Челябинской обл. Общая глубина залегания песка составляла более 2 м.

Кроме того, эффективность автоматической блокировки дифференциалов оценивалась при дви-

жении по размокшей грунтовой дороге протяженностью 6 км.

Оценке подвергались опорная проходимость автомобиля, его топливная экономичность и сравнительная нагруженность привода колес. В процессе испытаний определялись пройденный путь, скорость и траектория движения, соответствующие им угловые скорости колес, крутящие моменты на карданных валах привода переднего и среднего мостов, а также расход топлива при движении с 3 вариантами включения блокировки дифференциалов в приводе колес и осей:

- 1-й вариант — движение без блокировки дифференциалов;
- 2-й вариант — движение с автоматической системой управления блокировкой дифференциалов;
- 3-й вариант — движение со всеми заблокированными дифференциалами.

В качестве основного показателя эффективности движения в различных условиях была принята удельная работа, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению и приходящаяся на единицу проходимого пути и единицу веса при прямо- и криволинейном движении [15]. Она вычислялась по формуле (1):

$$f_a = \frac{2\pi \cdot \sum M_{ki} \cdot n_{ki}}{S \cdot G_a}, \quad (1)$$

где M_{ki} — подведенные к колесам (осям) крутящие моменты, кН·м; S — пройденный при измерениях путь, м; n_{ki} — соответствующее M_{ki} и S число оборотов колес.

Топливная экономичность автомобиля определялась по расходу топлива в л/100 км на одном и том же маршруте заснеженного поля и разбитой грунтовой дороги. Нагруженность привода колес с различными вариантами блокировки дифференциалов оценивалась по значениям крутящих моментов на валах привода переднего моста и задней тележки.

Дополнительно эффективность управления блокировкой дифференциалов при движении по размокшей грунтовой дороге оценивалась числом застреваний и среднетехнической скоростью.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Значения максимальной скорости на третьей передаче и времени разгона до нее автомобиля с экспериментальной системой управления блокировкой дифференциалами и штатного автомобиля, представлены в табл. 1. На основании анализа данных из табл. 1 можно сделать вывод, что в заданных условиях испытываемый грузовой автомобиль с автоматической блокировкой дифференциалов в трансмиссии разгоняется более интенсивно, чем автомобиль в штатной комплектации. Разница по времени разгона составляет 5,3%. Это можно объяснить тем, что при разгоне происходит перераспределение нормальных реакций между передним мостом и задней тележкой. Колеса задних мостов воспринимают большую вертикальную реакцию, чем колёса переднего моста. При этом колёса задней тележки по условиям сцепления могут создать большую тяговую силу, чем колеса переднего моста. Реализовать большую тяговую силу на колёсах заднего моста и, следовательно,

Таблица 1. Время разгона до максимальной скорости на третьей передаче

Table 1. Duration of acceleration to maximum speed at the third gear

Наименование показателя	Блокировка	№ заезда	Результаты испытаний	
			Результат заезда	Среднее
Максимальная скорость на третьей передаче, км/ч	Ручная	1	10,4	9,8
		2	9,9	
		3	9,1	
	Автоматическая	1	10,9	10,2
		2	10,4	
		3	9,2	
Время ускорения до максимальной скорости на третьей передаче, с	Ручная	1	4,3	3,8
		2	3,8	
		3	3,3	
	Автоматическая	1	4,1	3,6
		2	3,5	
		3	3,3	

получить лучшую динамику можно при заблокированных межосевом и межтележечном дифференциалах.

Значение средней скорости маневра, при повороте с радиусом 25 м, найденное в процессе испытаний, приведено в табл. 2.

Представленные данные свидетельствуют, что автоматическое управление дифференциалами в трансмиссии полноприводного грузового автомобиля практически не влияет на параметры криволинейного движения за счет автоматического разблокирования дифференциалов при повороте рулевого колеса на угол более 15 град. Это положительно сказывается на устойчивости криволинейного движения грузового автомобиля и сохранении ее на уровне серийного транспортного средства.

Значения времени прохождения участка грунтовой дороги с тяжелым дорожным покрытием в автоматическом и ручном режимах, полученные в процессе эксперимента, представлены в табл. 3.

Данные табл. 3 свидетельствуют о значительном (до 16,7%) повышении средней скорости движения в сложных дорожных условиях при автоматическом управлении распределения мощности. Это связано

с тем, что блокировка дифференциалов в трансмиссии позволяет автомобилю более полно использовать свои сцепные свойства, а автоматическое включение и выключение блокировки обеспечивает своевременную реакцию привода на изменяющиеся дорожные условия. Кроме того, использование фрикционных гидравлически управляемых муфт позволяет исключить возникновение циркуляции мощности, что положительно отражается на энергетических затратах, связанных с движением автомобиля.

Результаты испытаний в зимних условиях при движении по труднопроходимым участкам снежной целины, а также по заснеженной грунтовой дороге представлены в табл. 4, 5.

Испытания показали, что автоматическая система управления блокировкой дифференциалов с переменным коэффициентом блокировки обеспечивает автомобилю лучшие показатели. Так, при движении по проложенной колее на извилистых маршрутах по варианту № 2 получены наибольшая средняя скорость движения и наименьший расход топлива (18,2 км/ч и 109 л/100 км соответственно). Полная блокировка всех дифференциалов

Таблица 2. Значение средней скорости маневра при повороте с радиусом 25 м

Table 2. The value of the average maneuver velocity when turning with a radius of 25 m

Наименование показателя	Блокировка	Результаты испытаний, км/ч
Средняя скорость маневра	Ручная	37
	Автоматическая	37,7

Таблица 3. Значения времени прохождения участка грунтовой дороги с тяжелым дорожным покрытием

Table 3. The values of time for passing a section of a soil road with a severe road surface

Время прохождения участка грунтовой дороги с тяжелым дорожным покрытием	№ заезда	Результаты испытаний, с	
		Результат	Среднее значение
В автоматическом режиме	1	231	260
	2	292	
	3	256	
В ручном режиме	1	288	312
	2	367	
	3	281	

Таблица 4. Оценка эффективности движения по проложенным в снежной целине колеям на замкнутых маршрутах длиной 3–4 км с различными вариантами включения блокировок дифференциалов

Table 4. Evaluation of the motion efficiency along the tracks laid in virgin snow on closed routes 3–4 km long with various options for switching on differential locks

Определяемые параметры	Варианты включения блокировок дифференциалов		
	1	2	3
Средняя скорость движения, км/ч	16,35	18,20	17,60
Расход топлива, л/100 км	123,00	109,00	113,50

Таблица 5. Удельная работа, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению и приходящаяся на единицу проходимого пути и единицу веса при прямо- и криволинейном движении в различных дорожных условиях с различными вариантами включения блокировок дифференциалов

Table 5. Specific work expended on rolling resistance overcoming and given per unit of traveled distance and per unit of weight at straight-line and curvilinear motion in various road conditions with various options for switching on differential locks

Условия испытаний	Вариант включения блокировок дифференциалов		
	1	2	3
Прямолинейное движение по снежной целине с глубиной снежного покрова 0,30–0,35 м	0,223	0,204	0,213
Круговое движение по снежной целине с глубиной покрова 0,30–0,35 м	0,286	0,294	0,426
Движение по заснеженной грунтовой дороге	0,0485	0,0483	0,0487
Прямолинейное движение по сухому сыпучему песку	0,105	0,097	0,098
Круговое движение по сухому сыпучему песку	0,198	0,205	0,240

(вариант № 3) из-за худшей вписываемости автомобиля в извилистую траекторию имеет рассматриваемые показатели по скорости (17,6 км/ч) и расходу топлива (113 л/100 км). Несмотря на то, что она существенно лучше варианта № 1.

При прямолинейном движения грузового автомобиля по снежной целине со снежным покровом глубиной 0,30–0,35 м, автоматическое управление блокировкой дифференциалов и изменение степени их блокирования в зависимости от условий движения позволяет снизить удельную работу, затрачиваемую на преодоление сопротивления качению на 8,5% (по сравнению с полностью дифференциальным приводом) и на 4,5% (по сравнению с полностью заблокированной трансмиссией).

При движении на повороте наличие системы автоматического управления блокированием лишь незначительно увеличивает энергозатраты по сравнению с дифференциальным приводом (рост f_a на 2,8%), при этом значительно превосходя автомобиль с заблокированной трансмиссией (f_a меньше на 44%).

При движении автомобиля по заснеженной грунтовой дороге удельная работа сопротивления качению меняется незначительно в зависимости от варианта включения блокировки – от 0,0483 при управлении системой блокировки дифференциалов до 0,0487 при полностью заблокированном приводе, то есть практически не зависит от способа управления блокировкой. При этом нагруженность привода колес и диапазон колебаний крутящих

моментов значительно меньше при управляемой степени блокирования дифференциалов, что положительно сказывается на нагруженности трансмиссии.

Результаты, полученные при движении автомобиля на сухом сыпучем песке, свидетельствуют о преимуществах управляемой переменной блокировки дифференциалов при прямолинейном движении и при поворотах с минимальным радиусом. Так, при прямолинейном движении удельная работа на преодоление сопротивления качению снижается от 0,105 до 0,097 (на 8%). При криволинейном круговом движении с минимальным радиусом и включением блокировок в тех же вариантах f_a , напротив, возрастает всего на 3,5% по сравнению с дифференциальным приводом.

Эффективность управления блокировкой дифференциалов при движении по размокшей грунтовой дороге протяженностью 6 км оценивалась числом застреваний и среднетехнической скоростью (табл. 6).

Из представленных результатов следует, что при прямолинейном движении по сырому суглинку и разбитой, размокшей в период многодневных дождей дороге налицо преимущества автомобиля с управляемой блокировкой дифференциалов.

Оценка топливной экономичности показала, что во всех дорожных условиях автоматическое управление блокировкой дифференциалов с переменной степенью блокирования обеспечивало снижение расхода топлива на 7–8%. Таким образом, с точки зрения

Таблица 6. Движение по разбитой грунтовой дороге на пути 6 км

Table 6. Motion at a broken soil road on a 6 km path

Определяемые параметры	Варианты включения блокировок дифференциалов		
	1	2	3
Число застреваний	9	1	1
Скорость, км/ч	18,8	21,0	20,3

проходимости, нагруженности, топливной экономичности нами была подтверждена эффективность предложенного алгоритма автоматического управления блокировкой дифференциалов в трансмиссии автомобиля, реализующего обоснованные закономерности распределения мощности.

Проведенная авторами технико-экономическая оценка результатов работы показала, что в совокупности параметров, определяющих себестоимость серийного и предлагаемого автомобиля, а также расходов, связанных с его эксплуатацией и ремонтом, экономический эффект от реализации предлагаемых решений составил более 200 000 рублей на один грузовой автомобиль в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная оценка эффективности предлагаемых решений по управлению дифференциалами в трансмиссии полноприводного грузового автомобиля показала существенное увеличение показателей скоростных свойств, проходимости и топливной экономичности. Так, при разгоне на 3-й передаче было обеспечено снижение времени разгона до максимальной скорости на 5,3%. При преодолении участка разбитой грунтовой дороги время прохождения участка было сокращено на 17%, а по труднопроходимым участкам снежной целины с проложенными колеям – на 11,3%. Установлено, что автоматическое управление блокировкой дифференциалов позволяет на 8–8,5% снизить удельную работу на преодоление сопротивления качению при прямолинейном движении по снежной целине и сухому сыпучему песку.

Экспериментально подтверждено, что автоматическое изменение степени блокировки дифференциалов в трансмиссии при движении по криволинейной траектории, а также по неровной опорной поверхности позволяет минимизировать нагруженность привода колес и диапазон колебаний крутящих моментов, что положительно влияет на надежность трансмиссии и топливную экономичность автомобиля, обеспечивает сохранение базовых параметров его устойчивости и маневренности.

Оценка топливной экономичности показала, что во всех дорожных условиях автоматическое управление блокировкой дифференциалов с переменной степенью блокирования обеспечивает снижение расхода топлива на 7–8%. На основе выполненных экспериментальных исследований установлено, что предложенная автором автоматическая система управления блокировкой дифференциалов с переменным коэффициентом блокировки обеспечивает автомобилю лучшие показатели. Технико-экономическая оценка результатов эксперимента показала, что в совокупности параметров, определяющих себестоимость серийного и предлагаемого автомобиля,

а также расходов, связанных с эксплуатацией и ремонтом, экономический эффект от реализации предлагаемых решений составляет 200 000 рублей на один грузовой автомобиль в год. Таким образом, эффективность блокировки дифференциалов управляемыми фрикционными муфтами можно считать подтвержденной.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. А.В. Келлер — научное руководство, участие в изготовлении экспериментального образца и проведении экспериментальных исследований, редактирование текста рукописи; А.В. Попов — разработка программы и методик экспериментального исследования, проведение и обработка результатов эксперимента, подготовка рабочих материалов текста рукописи; И.Ю. Окольнишникова — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, технико-экономическая оценка эффективности предлагаемых решений, написание текста и редактирование статьи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Работа выполнялась при финансовой поддержке Минобрнауки РФ рамках проекта «Разработка научно-технических решений по управлению распределением мощности в трансмиссиях грузовых автомобилей для повышения их энергоэффективности и топливной экономичности» по соглашению № 14.574.21.0106 (уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57414X0106).

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. A.V. Keller — scientific leadership, participation in the manufacture of the experimental sample and conducting experimental studies, editing the text of the manuscript; A.V. Popov — development of the program and methods of experimental research, conducting and processing the results of the experiment, preparation of working materials for the text of the manuscript; I.Yu. Okolnishnikova — literature review, collection and analysis of literary sources, technical and economic evaluation of the effectiveness of the proposed solutions, writing the text and editing the article. The authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria (all authors made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. The work was conducted with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation in the framework

of the “Development of scientific and technical solutions for power distribution control in transmission of trucks for increasing their energy efficiency and fuel efficiency” project according to the contract No. 14.574.21.0106.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспорт в России. 2022: Стат. сборник. М.: Росстат, 2022. [дата обращения: 17.07.2023] Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Transport_2022.pdf
2. Плотность автодорог с твердым покрытием в России по регионам // Миркарт. [дата обращения: 17.07.2023] Режим доступа: <https://миркарт.рф/%D0%BA%D0%B0%D1%8=126>
3. Сколько в России полноприводных грузовиков? // Маркетинговое агентство НАПИ. [дата обращения: 17.07.2023] Режим доступа: <https://napinfo.ru/infographics/skolko-v-rossii-polnoprivodnykh-gruzovikov/>
4. Загарин Д.А., Козловская М.А., Дзюценидзе Т.Д. Анализ потребности и спроса на машины сельскохозяйственного назначения в условиях структурного кризиса в экономике // Автомобильная промышленность. 2020. № 9. С. 1–7.
5. Дерюженко С.А. Ушнурцев С.В. Автоматизация управления движением военных гусеничных и колесных машин. Омск: Омский автобронетанковый инженерный институт, 2023.
6. Котиев Г.О., А.С.С.А. О необходимости создания производства специальной колёсной и гусеничной техники для эксплуатации в условиях арктической зоны РФ // Журнал автомобильных инженеров. 2018. № 4(111). С. 27–29.
7. Котляренко В.И. Исторический обзор основных направлений повышения проходимости традиционных колёсных транспортных средств // Труды МАМИ. 2022. № 3 (290). С. 45–62. doi: 10.51187/0135-3152-2022-3-45-62

8. Пирковский Ю.В., Шухман С.Б. Теория движения полноприводного автомобиля (прикладные вопросы оптимизации конструкции шасси). М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001.
9. Лещинский Д.Ю., Смирнов А.А., Ягубова Е.В. Анализ перспективных конструкций ведущих мостов транспортных средств на примере патентов мировых производителей // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 12 (24). С. 24.
10. Keller A., Aliukov S. Effectiveness of Methods of Power Distribution in Transmissions of All-Wheel-Drive Trucks // SAE Technical Papers. 2015. Vol. 2015-September. doi: 10.4271/2015-01-2732
11. Dygalo V., A.A. Principles of application of virtual and physical simulation technology in production of digital twin of active vehicle safety systems // Transportation Research Procedia : 14, Saint Petersburg, 21–24 октября 2020 года. Saint Petersburg, 2020. P. 121–129. doi: 10.1016/j.trpro.2020.10.015
12. Белоусов Б.Н., Попов С.Д. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. Конструкция. Теория. Расчет. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.
13. Чистов М.П., Ковалев В.В. Армейские автопоезда и дорожные условия // Автомобильная промышленность. 2001. № 11. С. 18–20.
14. Ларин В.В. Методы прогнозирования и повышения опорной проходимости многоосных колесных машин на местности: Автореф. дисс. докт. техн. наук. Москва, 2007.
15. РТМ 37.001.053-2000 Военная автомобильная техника. Методы определения показателей проходимости автомобилей.

REFERENCES

1. *Transport in Russia. 2022: Stat. collection.* Moscow: Rosstat; 2022. (in Russ). Accessed: 17.07.2023. Available from: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Transport_2022.pdf
2. Density of paved roads in Russia by region. Mirkart [internet]. Accessed: 17.07.2023. Available from: <https://миркарт.рф/%D0%BA%D0%B0%D1%8=126>
3. How many all-wheel drive trucks are there in Russia? Marketing agency NAPI. [internet]. Accessed: 17.07.2023. Available from: <https://napinfo.ru/infographics/skolko-v-rossii-polnoprivodnykh-gruzovikov/>
4. Zagarin DA, Kozlovskaya MA, Dzotsenidze TD. Analysis of the need and demand for agricultural machinery in conditions of a structural crisis in the economy. *Avtomobilnaya promyshlennost.* 2020;9:1–7. (in Russ).
5. Deryuzhenko SA, Ushnurtsev SV. *Automation of traffic control of military tracked and wheeled vehicles.* Omsk: Omskiy avtobronetankovyy inzhenernyy institut; 2023. (in Russ).
6. Kotiev GO, Dyakov AS, Sologub SA. On the need to create production of special wheeled and tracked vehicles for operation in the Arctic zone of the Russian Federation. *Zhurnal avtomobilnykh inzhenerov.* 2018;4(111):27–29. (in Russ).
7. Kotlyarenko VI. Historical overview of the main directions for increasing the cross-country ability of traditional

- wheeled vehicles. *Trudy NAMI.* 2022;3(290):45–62. (in Russ). doi: 10.51187/0135-3152-2022-3-45-62
8. Pirkovsky YuV, Shukhman SB. Theory of motion of an all-wheel drive vehicle (applied issues of optimization of chassis design). Moscow: YuNITI-DANA; 2001. (in Russ).
9. Leshchinsky DYu, Smirnov AA, Yagubova EV. Analysis of promising designs of vehicle drive axles using the example of patents from global manufacturers. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii.* 2013;12(24):24. (in Russ).
10. Keller A, Aliukov S. Effectiveness of Methods of Power Distribution in Transmissions of All-Wheel-Drive Trucks. *SAE Technical Papers.* 2015;2015-September. doi: 10.4271/2015-01-2732
11. Dygalo V, Keller A, Shcherbin A. Principles of application of virtual and physical simulation technology in production of digital twin of active vehicle safety systems. In: *Transportation Research Procedia : 14, Saint Petersburg, 21–24/10/2020.* Saint Petersburg; 2020:121–129. doi: 10.1016/j.trpro.2020.10.015
12. Belousov BN, Popov SD. *Wheeled vehicles with particularly large load-carrying capacity. Design. Theory. Calculation.* Moscow: MG TU im NE Bauman; 2006. (in Russ).
13. Chistov MP, Kovalev VV. Army road trains and road conditions. *Avtomobilnaya promyshlennost.* 2001. № 11. С. 18–20. (in Russ).

14. Larin VV. Metody prognozirovaniya i povysheniya opornoy prokhodimosti mnogoosnykh kolesnykh mashin na mestnosti [dissertation] Moscow; 2007. (in Russ).

15. RTM 37.001.053-2000 Voennaya avtomobilnaya tekhnika. Metody opredeleniya pokazateley prokhodimosti avtomobiley. (in Russ).

ОБ АВТОРАХ

*** Келлер Андрей Владимирович,**

профессор, д-р техн. наук,
заведующий кафедрой «Наземные транспортные средства»,
и.о. директора;
адрес: Российская Федерация, 123104, Москва,
Тверской 6-р, д. 13, стр. 1;
ORCID: 0000-0003-4183-9489;
eLibrary SPIN: 4622-5727;
e-mail: andreikeller@rambler.ru

Попов Андрей Вячеславович,

аспирант научно-образовательного центра;
ORCID: 0009-0006-3266-9464;
e-mail: popov.andrey@gmail.com

Окольнишникова Ирина Юрьевна,

профессор, д-р эконом. наук,
заведующая кафедрой маркетинга услуг
и бренд-менеджмента;
ORCID: 0000-0002-4958-8189;
eLibrary SPIN: 6286-0401;
e-mail: okolnishnikova.i@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Andrey V. Keller,**

Professor, Dr. Sci. (Tech),
Head of the Land Vehicles Department, Acting Director;
address: 13 bldg. 1 Tverskoy Boulevard, 1123104 Moscow,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0003-4183-9489;
eLibrary SPIN: 4622-5727;
e-mail: andreikeller@rambler.ru

Andrey V. Popov,

Postgraduate of the Scientific and Educational Center;
ORCID: 0009-0006-3266-9464;
e-mail: popov.andrey@gmail.com

Irina Yu. Okolnishnikova,

Professor, Dr. Sci. (Economics),
Head of the Service Marketing
and Brand Management Department;
ORCID: 0000-0002-4958-8189;
eLibrary SPIN: 6286-0401;
e-mail: okolnishnikova.i@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author