

УДК 629.113-587

**М. С. Высоцкий, д-р техн. наук, проф., Д. А. Дубовик, канд. техн. наук,
М. М. Белоус, канд. техн. наук, Е. В. Мыльников**

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛАМИ ПРИВОДА ВЕДУЩИХ МОСТОВ МНОГОПРИВODНЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН

Разработан способ управления дифференциалами привода ведущих мостов многоприводных колесных машин с улучшенным алгоритмом, учитывающим текущее состояние дорожно-цепных условий при разблокировании дифференциалов. Приводятся результаты исследований влияния разработанного способа управления приводом ведущих мостов на буксование ведущих колес и эффективность ходовой системы внедорожной машины МЗКТ-79091 с колесной формулой 8×8.

Введение

Анализ известных из [1–6] способов управления приводом ведущих мостов и колес свидетельствует о том, что большинство из них ориентированы на использование в электронных системах управления приводом колесных машин в основном с одним, реже – двумя ведущими мостами.

Известные способы управления приводом при идентификации пороговых значений рассогласований кинематических параметров (скоростей вращения, коэффициентов буксований и т. п.) ведущих колес реализуют строго определенную последовательность действий по управлению приводом [1]. Вследствие того, что источником информации об окружающей среде и объектом управления электронной системы, как правило, являются одни и те же или жестко связанные между собой элементы привода [1], во время реализации заданной последовательности управляющих действий исключается поступление в систему, обработка и, соответственно, учет новых данных (сигналов) о состоянии текущих дорожно-цепных условий. В результате управление приводом ведущих мостов и колес осуществляется вне зависимости от текущего состояния дорожно-цепных условий, т. е. «вслепую», что в ряде случаев может привести к ухудшению отдельных эксплуатационных свойств и снижению эффективности ходовой системы колесной машины в целом [1].

Необходимость дальнейшего развития методов управления агрегатами и узлами с целью повышения эффективности ходовых систем, производительности и конкурентоспособности колесных машин делает весьма актуальным разработку более совершенных способов управления приводом ведущих мостов и колес.

Целью настоящей статьи явилась разработка способа управления дифференциалами привода ведущих мостов многоприводных колесных машин с улучшенным алгоритмом, учитывающим текущее состояние дорожно-цепных условий при разблокировании дифференциалов. В статье приводятся результаты исследований влияния разработанного способа на буксование ведущих колес и эффективность ходовой системы внедорожной машины МЗКТ-79091 с колесной формулой 8×8.

Адаптивное управление приводом ведущих мостов

В Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси при проведении исследований по заданию 2.05 Государственной комплексной программы научных исследований «Механика» разработан способ управления приводом ведущих мостов многоприводных колесных машин с улучшенным алгоритмом, учитывающим текущее состояние дорожно-цепных условий при разблокировании дифференциалов.

Разработанный способ управления приводом ведущих мостов многоприводных колесных машин заключается в блокировании межосевых дифференциалов на определенные промежутки времени при достижении порогового значения несогласований кинематических параметров связываемых ими ведущих колес и разблокировании дифференциалов. Причем согласно разработанному техническому решению, разблокирование межосевых дифференциалов осуществляют при или же по истечении определенных промежутков времени после снижения несогласований кинематических параметров колес связываемых ими ведущих мостов ниже значений пороговых величин.

Значение пороговой величины несогласований кинематических параметров колес ведущих мостов $\Delta\delta_s$ для разблокирования межосевых дифференциалов может определяться из выражения

$$\Delta\delta_s \geq \frac{r_{j2} \cdot v_{j1}}{r_{j1} \cdot v_{j2}}, \quad (1)$$

где r_{j1} , r_{j2} – радиусы качения внешнего и внутреннего по отношению к центру поворота колес j -го ведущего моста; v_{j1} , v_{j2} – скорости качения внешнего и внутреннего по отношению к центру поворота колес j -го ведущего моста при движении колесной машины по опорной поверхности со стабильными дорожно-сцепными условиями с максимальной скоростью, до которой осуществляется управление дифференциалами; j – порядковый номер ведущего моста из числа ведущих мостов, связываемых соответствующим управляемым межосевым дифференциалом.

Эффективность разработанного способа оценивалась расчетным методом в качестве алгоритмического обеспечения электронной системы регулирования тягового усилия многоприводной колесной машины, близкой по своим массовым, геометрическим и другим параметрам к внедорожной машине МЗКТ–79091 полной массой 43,5 т с колесной формулой

8×8 и шинами 1500×600–635, осуществляющей управление дифференциалами привода ведущих мостов.

Для компьютерного моделирования движения внедорожной машины МЗКТ–79091 составлялась математическая модель движения колесной машины 8×8 с использованием уравнений Апеля [7]. Моделирование движения осуществлялось по наиболее вероятной для эксплуатации внедорожных колесных машин грунтовой опорной поверхности в удовлетворительном состоянии с коэффициентом сцепления ведущих колес с опорной поверхностью 0,6 и коэффициентом сопротивления качению колес 0,03 [8] со скоростью 1 м/с.

В качестве опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями для оценки эффективности предлагаемого способа принималось три последовательно расположенных участка опорной поверхности с различным образом изменяющимися значениями коэффициента сцепления ведущих колес разных бортов с опорной поверхностью от 0,6 до 0,1 общей протяженностью свыше 30 м. Размеры одного участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями принимались меньшими, чем минимальное расстояние между ведущими мостами внедорожной машины МЗКТ–79091. Последнее соответствует расстоянию между первым и вторым мостами и третьим и четвертым мостами и составляет 2,2 м.

Изменение значений коэффициентов сцепления ведущих колес правого φ_{j1} и левого φ_{j2} бортов с опорной поверхностью моделировалось с использованием системы нелинейных уравнений следующего вида:

$$\varphi_{j1} = \varphi_0 - \Delta\varphi \cdot \sin^2(Tt); \quad (2)$$

$$\varphi_{j2} = \varphi_0 - \Delta\varphi \cdot \sin^2(2Tt), \quad (3)$$

где φ_0 – коэффициент сцепления ведущих колес с грунтовой опорной поверхностью удовлетворительного состояния;

$\Delta\varphi$ – величина изменения коэффициента сцепления ведущих колес с опорной поверхностью; T – параметр, характеризующий размер участка опорной поверхности с плохими дорожно-цепными условиями; t – время движения колесной машины по участку опорной поверхности с плохими дорожно-цепными условиями; j – порядковый номер ведущего моста.

Для сравнительной оценки эффективности предлагаемого способа осуществлялось моделирование трех колесных машин с одними и теми же массовыми, геометрическими и другими параметрами, близкими к параметрам внедорожной машины МЗКТ–79091, но с различным управлением привода ведущих мостов.

В машине 1 моделировался простой симметричный дифференциальный привод ведущих мостов.

В машине 2 моделировался простой симметричный дифференциальный привод ведущих мостов с управлением межосевыми дифференциалами в соответствии со способом, принятым в качестве прототипа и заключающимся в блокировании межосевых дифференциалов на определенные промежутки времени при достижении рассогласований кинематических параметров связываемых ими ведущих колес значений пороговых величин и их разблокировании. Принималось, что блокирование межосевых дифференциалов у машины 2 осуществлялось на промежуток времени, равный 21 с.

В машине 3 моделировался простой симметричный дифференциальный привод ведущих мостов с управлением дифференциалами в соответствии с разработанным способом управления.

В качестве пороговой величины рассогласований кинематических параметров колес ведущих мостов для блокирования межосевых дифференциалов у машин 2 и 3 принималось отношение буксований их колес. Численное значение пороговой величины отношения буксований принималось как равное или большее отношению коэффициентов буксований колес δ_{j1} и δ_{j2} ведущих мостов, обеспечивающему движение внедорожной машины МЗКТ–79091 по

опорной поверхности со стабильными дорожно-цепными условиями с гарантированным дифференциальным приводом ведущих мостов. Для обеспечения гарантированного дифференциального привода ведущих мостов значение пороговой величины рассчитывалось из условия движения машины без блокирования межосевых дифференциалов по траекториям максимальной кривизной с максимальным значением поступательной скорости, которым ограничивается работа электронной системы регулирования тягового усилия. Для оценки эффективности разработанного способа численное значение пороговой величины отношения буксований колес ведущих мостов принималось равным 4,62.

Численное значение пороговой величины рассогласований кинематических параметров колес ведущих мостов для разблокирования межосевых дифференциалов машины 3 рассчитывалось в соответствии с выражением (1) и принималось равным 1,25.

В качестве показателя эффективности ходовой системы многоприводной колесной машины использовался количественный показатель $\eta_{r\alpha}$ [9], по своей структуре соответствующий требованиям, предъявляемым к коэффициентам полезного действия, принятый также в качестве оценочного показателя уровня реализации опорной проходимости и тягово-скоростных свойств:

$$\eta_{r\alpha} = \frac{N_{k\alpha}}{N_k} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_{k\alpha j1} + N_{k\alpha j2})}{\sum_{i=1}^n (N_{kj1} + N_{kj2})}, \quad (4)$$

где $N_{k\alpha}$ – мощность, расходуемая ходовой системой на осуществление движения машины в направлении, задаваемом водителем поворотом рулевого колеса; N_k – мощность, передаваемая ходовой системе; $N_{k\alpha j1}$, $N_{k\alpha j2}$ – мощности, расходуемые левым и правым колесами j -го моста на осуществление движения

машины в направлении, задаваемом водителем поворотом рулевого колеса (индексы 1 и 2 относятся соответственно к правому и левому колесу моста); N_{kj1} , N_{kj2} – мощности, подведенные к левому и правому колесу j -го моста; n – количество ведущих мостов колесной машины.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты расчетных исследований представлены на рис. 1–7. На рис. 1 приведены графические зависимости коэффици-

ентов сцепления ведущих колес φ_{j1} и φ_{j2} с опорной поверхностью от времени движения, полученные при моделировании грунтовой поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями с использованием уравнений (2) и (3).

На рис. 2–4 представлены графические зависимости коэффициентов буксований δ_{j1} и δ_{j2} ведущих колес машин 1, 2, 3 от времени движения по грунтовой опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями.

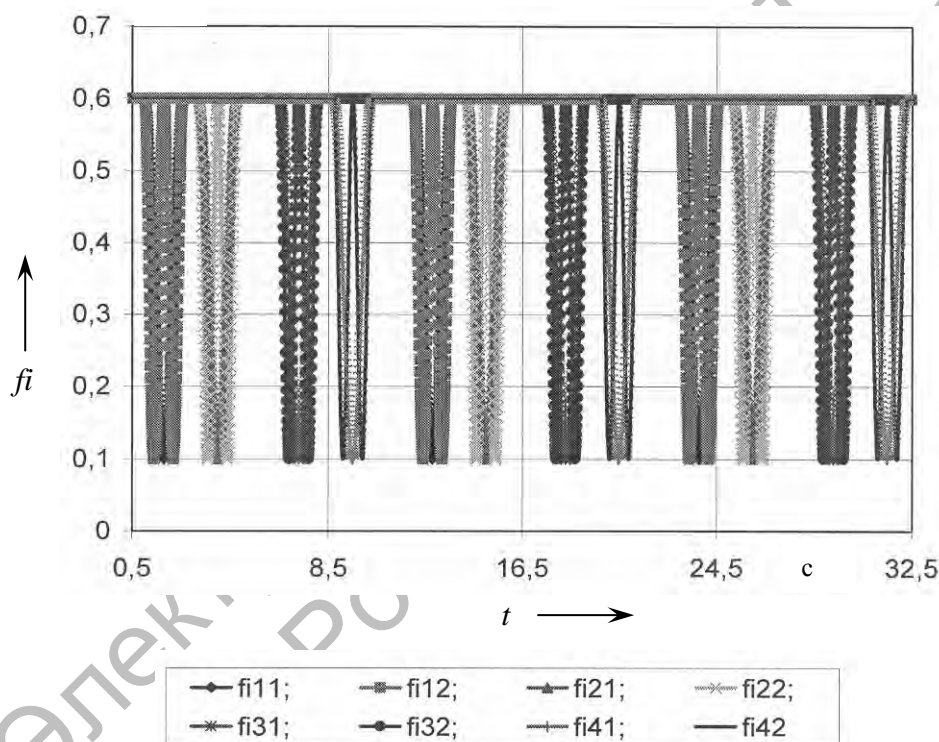


Рис. 1. Графические зависимости коэффициентов сцепления ведущих колес φ_{j1} и φ_{j2} с опорной поверхностью от времени движения

На рис. 5–7 представлена графическая зависимость коэффициентов полезного действия η_{rca} ходовых систем машин 1, 2, 3 от времени движения по грунтовой опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями.

Буксование ведущих колес. Анализ зависимостей на рис. 2 показывает, что при движении многоприводной колесной ма-

шины 1 с простым симметричным дифференциальным приводом по участку опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями происходит раздельное буксование ведущих колес. Значения коэффициентов буксований δ_{j1} и δ_{j2} ведущих колес машины 1 изменяются со значений, равных 0,0124–0,0134 при движении по грунтовой опорной поверхно-

сти удовлетворительного состояния, до значений 0,099–0,1096 при прохождении участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями. Наибольшее уве-

личение значений коэффициентов буксований соответствует колесам первого и второго ведущих мостов с меньшей нормальной нагрузкой.

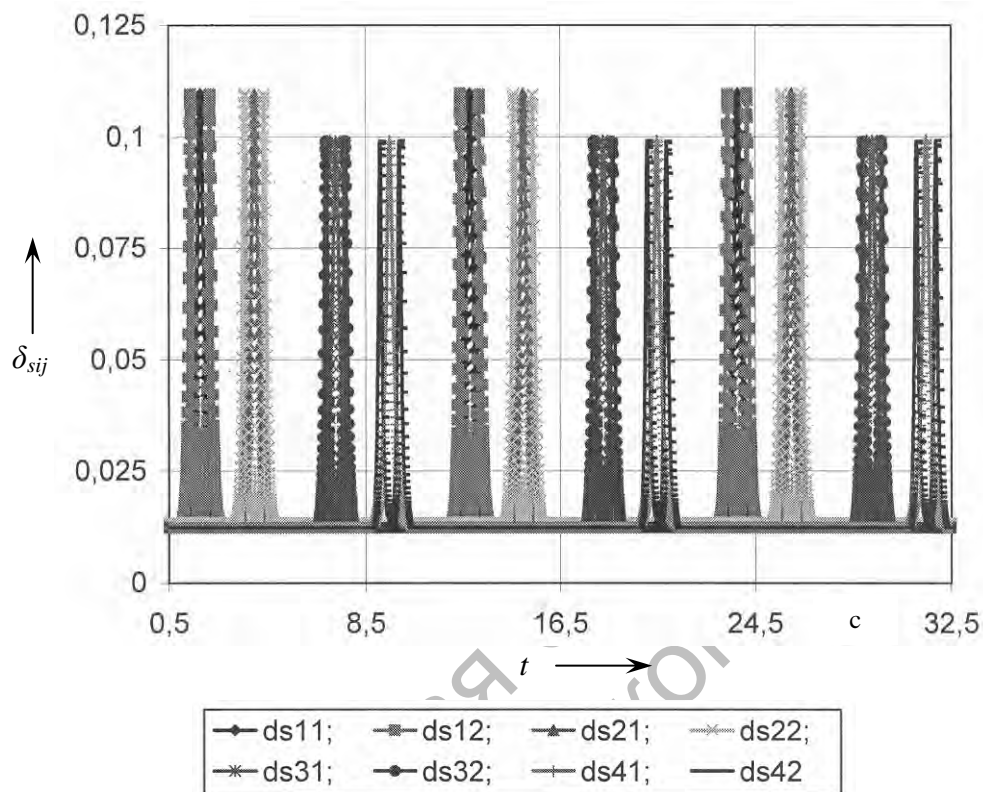


Рис. 2. Графические зависимости коэффициентов буксований δ_{j1} и δ_{j2} ведущих колес машины 1

Из рис. 3 следует, что раздельное буксование ведущих мостов у многоприводной колесной машины 2 с управлением дифференциалами в соответствии со способом, принятым в качестве прототипа, ограничивается пороговым значением, задаваемым в алгоритмическом и программном обеспечениих электронного блока управления системы регулирования тягового усилия.

При попадании колес ведущего моста на участок опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями значения их коэффициентов буксования увеличиваются до диапазона от 0,0839 до 0,0973. При достижении отношения буксований пороговой величины происходит блокирование межосевого дифференциала передней ведущей тележки, колес третьего и четвертого веду-

щих мостов – межосевого дифференциала задней ведущей тележки. Реализация в дальнейшем в течение 21 с заблокированного привода ведущих мостов приводит к ограничению коэффициентов буксований δ_{j1} и δ_{j2} колес ведущих мостов диапазоном значений 0,0218–0,0237. Это положительным образом сказывается на повышении проходимости и тягово-скоростных свойств внедорожных колесных машин по отношению к внедорожной колесной машине с простым дифференциальным приводом.

По истечении 21 с после блокирования межосевых дифференциалов передней и задней тележки при функционировании системы регулирования тягового усилия в соответствии со способом, принятым в качестве прототипа, происходит

их разблокирование вне зависимости от текущего состояния дорожно-сцепных условий под ведущими колесами машины 2. Последовавшее разблокирование дифференциалов при продолжении движения колесной машины по участку опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями приводит к повторному увеличению коэффициентов буксований колес первого и третьего ведущих мостов, возникновению рассогласования кинематических параметров колес ведущих мостов и, как следствие, к снижению уровня реализации опорной проходимости и тягово-скоростных свойств машины. При достижении отношения коэффициентов буксова-

ний колес первого и второго ведущих мостов, третьего и четвертого ведущих мостов пороговой величины 4,62 осуществляется повторное блокирование соответствующих межосевых дифференциалов передней и задней ведущих тележек на следующий конечный промежуток времени. Таким образом, работа электронной системы регулирования тягового усилия в соответствии со способом управления, принятым в качестве прототипа, приводит к разблокированию привода ведущих колес при движении в плохих дорожно-сцепных условиях и увеличению вероятности потери колесной машиной подвижности.

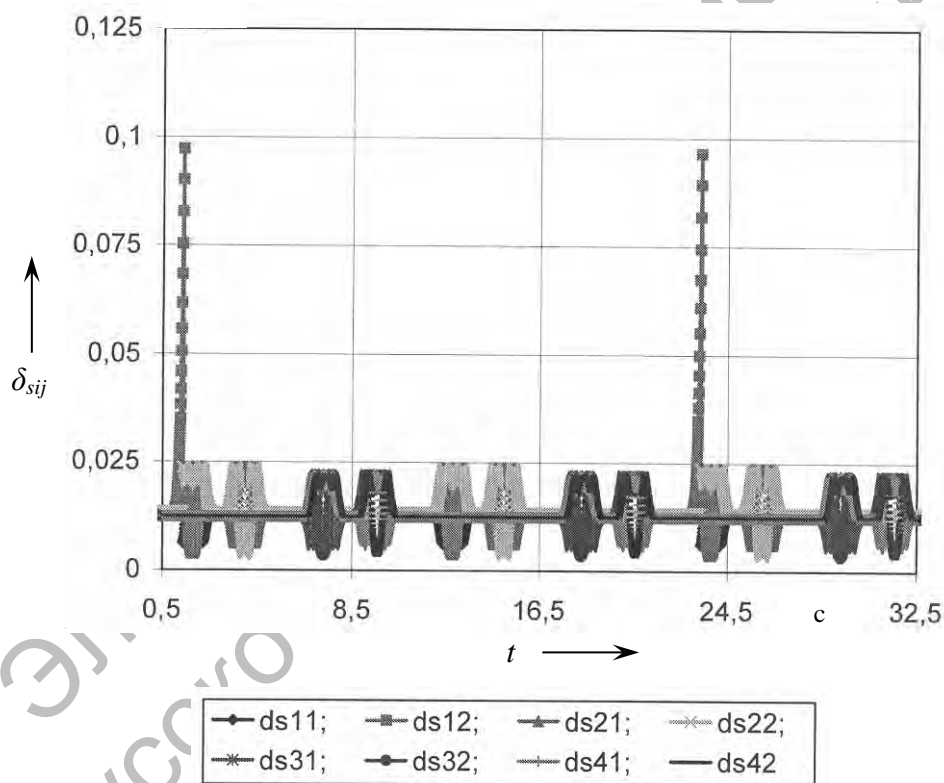
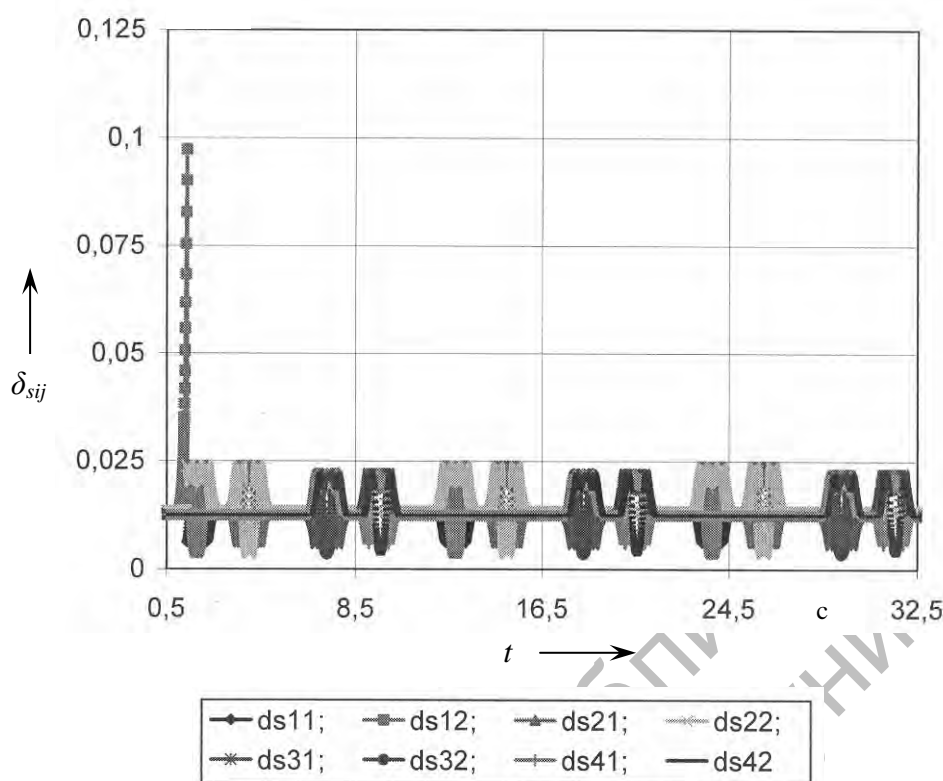


Рис. 3. Графические зависимости коэффициентов буксований δ_{j1} и δ_{j2} ведущих колес машины 2

Зависимости на рис. 4 свидетельствуют о том, что у машины 3 с управлением дифференциалами в соответствии с разработанным способом раздельное буксование или же рассогласование других кинематических параметров ведущих колес реализуется только в начале движения колесной

машины по участку опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями. Раздельное буксование происходит только в момент установления наличия участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями под ведущими колесами.

Рис. 4. Графические зависимости коэффициентов буксований δ_{j1} и δ_{j2} ведущих колес машины 3

При въезде ведущих колес на участок опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями у машины 3, как и у машины 2, происходит увеличение коэффициентов буксований колес первого, а затем и третьего ведущего моста и возникновение рассогласований кинематических параметров ведущих мостов. При достижении рассогласования кинематических параметров ведущих мостов порогового значения, соответствующего отношению коэффициентов буксований, равному 4,62, происходит блокирование межосевых дифференциалов передней и задней ведущих тележек. В результате увеличение коэффициентов буксования колес первого ведущего моста ограничивается диапазоном значений от 0,0839 до 0,0973 при определении участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями под ведущими колесами машины для блокирования управляемых дифференциалов. Максимальные значения коэффициентов буксований при

дальнейшем движении по участку опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями до полного его прохождения ограничивается значениями 0,0218–0,0237. Разблокирование межосевых дифференциалов не происходит, потому что значения рассогласований колес связываемых ими ведущих мостов в заданном промежутке времени, свидетельствующие о прохождении колесной машиной участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями, превышают пороговую величину $\Delta\delta_s$.

Эффективность ходовой системы. Анализ зависимости на рис. 5 показывает, что у машины 1 с простым симметричным дифференциальным приводом ведущих мостов коэффициент полезного действия ходовой системы η_{rsa} (4) при движении по опорной поверхности удовлетворительного состояния составляет 0,987. При преодолении участка опорной

поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями показатель $\eta_{rs\alpha}$ снижается до диапазона значений 0,9737–0,9742. Снижение показателя $\eta_{rs\alpha}$ на 0,0128–0,0133 объ-

ясняется увеличением буксований ведущих колес, движущихся в соответствующий момент времени по участку опорной поверхности с уменьшенным коэффициентом сцепления.

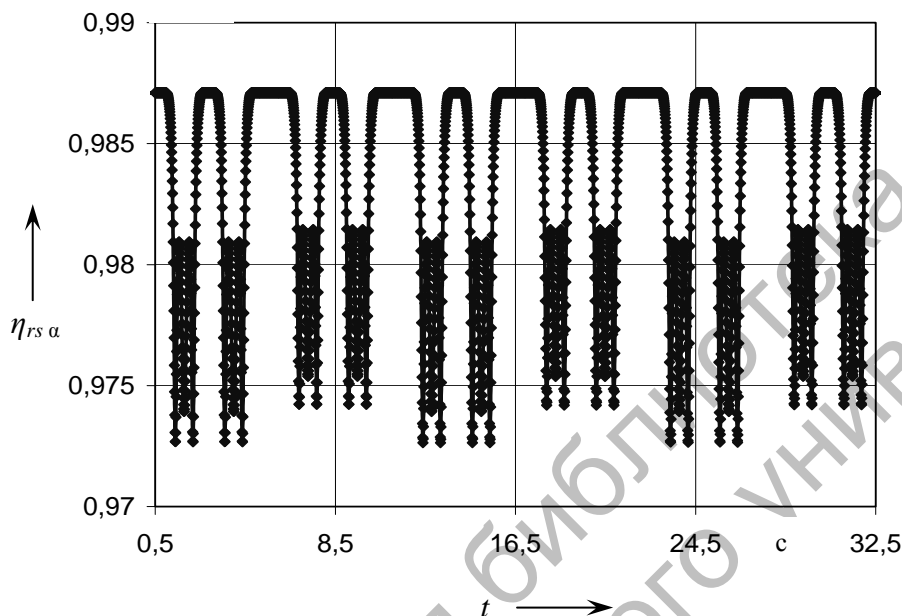


Рис. 5. Графическая зависимость коэффициентов полезного действия $\eta_{rs\alpha}$ ходовой системы машины 1

У машины 2 с управлением дифференциалами в соответствии со способом, принятым в качестве прототипа, снижение показателя эффективности $\eta_{rs\alpha}$ совершается неоднократно. Снижение эффективности происходит при определении колесами первого и третьего ведущих мостов начала участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями, а также при движении по участку с плохими дорожно-сцепными условиями всякий раз при разблокировании дифференциалов по истечении промежутков времени, на которые они были заблокированы (рис. 6). Снижение показателя $\eta_{rs\alpha}$ у машины 2 ограничивается блокированием дифференциалов ведущих мостов, которое осуществляется при достижении пороговых отношений коэффициентов буксования величины их ведущих колес 4,62. Снижение

показателя $\eta_{rs\alpha}$ у машины 2 происходит до значений 0,9747 и 0,9742 при попадании колес первого и третьего ведущих мостов на участок с плохими дорожно-сцепными условиями.

При движении машины 3 (рис. 7) с управлением дифференциалами в соответствии с предлагаемым способом снижение коэффициента полезного действия ходовой системы $\eta_{rs\alpha}$ вследствие раздельного буксования ведущих колес до значения, численно равного 0,9747, происходит только при въезде на участок опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями. При достижении отношения коэффициентов буксований ведущих колес первого и второго ведущих мостов пороговой величины, равной 4,62, осуществляется блокирование межосевого дифферен-

циала передней тележки. При достижении отношения коэффициентов буксований ведущих колес третьего и четвертого ведущих мостов пороговой величины, равной 4,62, осуществляется блокирование межосевого дифференциала задней те-

лежки. Дальнейшее движение машины 3 по участку с плохими дорожно-сцепными условиями осуществляется с заблокированными межосевыми дифференциалами передней и задней тележки.

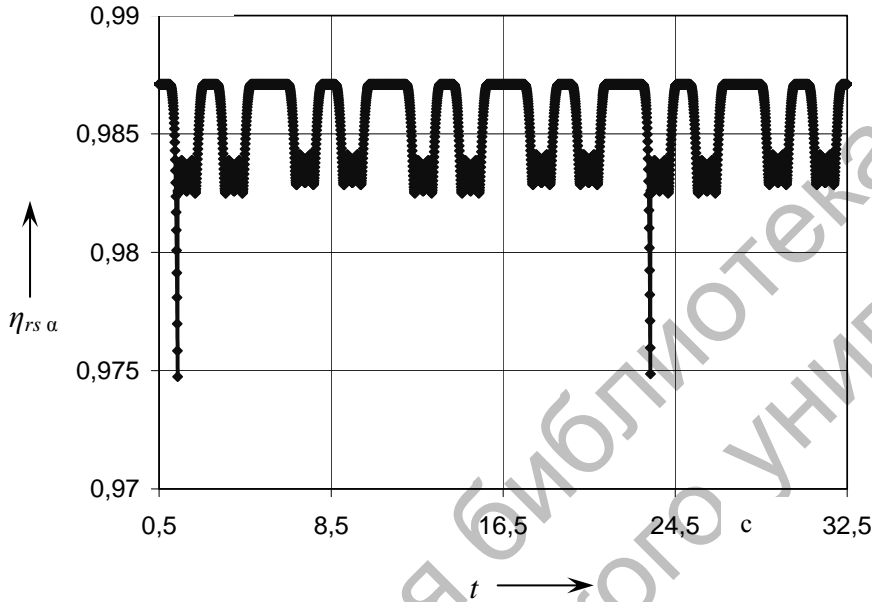


Рис. 6. Графическая зависимость коэффициентов полезного действия $\eta_{rs\alpha}$ ходовой системы машины 2

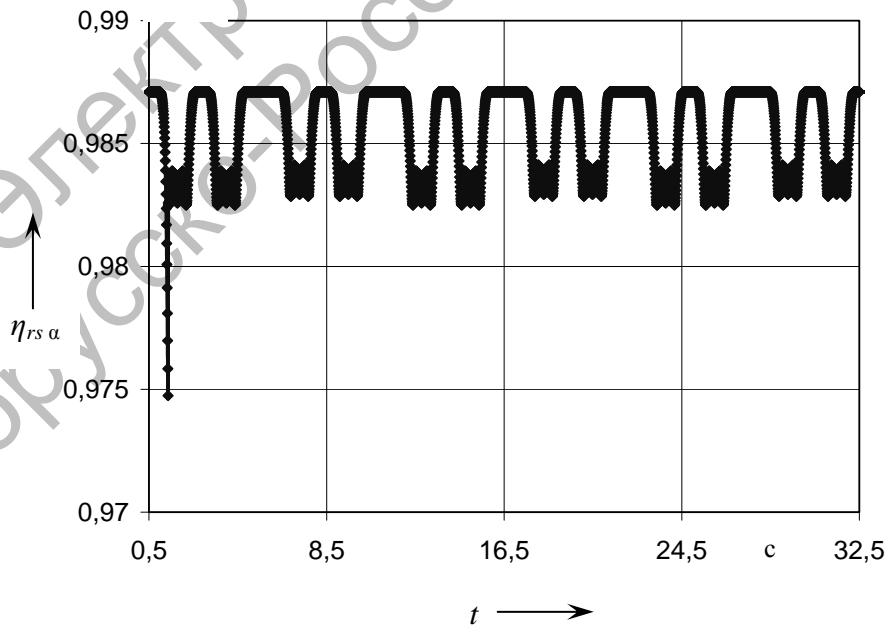


Рис. 7. Графическая зависимость коэффициентов полезного действия $\eta_{rs\alpha}$ ходовой системы машины 3

В отличие от машины 2, у машины 3 разблокирование дифференциалов осуществляется не по истечении заданных промежутков времени после их блокирования, а по истечении заданных промежутков времени при снижении рассогласований кинематических параметров колес ведущих мостов значений ниже пороговой величины $\Delta\delta_s$, что является характерным признаком преодоления колесной машиной участка опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями. В результате предотвращается снижение эффективности привода ведущих мостов вследствие разблокирования межосевых дифференциалов во время движения колесной машины по участку опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями.

Заключение

Разработан способ управления дифференциалами привода ведущих мостов, заключающийся в блокировании межосевых дифференциалов на определенные промежутки времени при достижении порогового значения рассогласований кинематических параметров связываемых ими ведущих колес и разблокировании дифференциалов. Разработанный способ отличается тем, что разблокирование межосевых дифференциалов осуществляют по истечении определенных промежутков времени после снижения рассогласований кинематических параметров колес связываемых ими ведущих мостов ниже значений пороговых величин, определяемых из выражения (1).

Проведенные исследования показали, что предлагаемый способ управления дифференциалами привода ведущих мостов позволяет исключить повторное увеличение коэффициентов буксования колес этих мостов на 0,071–0,073 и предотвратить снижение коэффициента полезного действия ходовой системы внедорожной машины МЗКТ–79091 с колесной формулой 8×8 на 0,768–0,784 % при движении по опорной поверхности с плохими дорожно-сцепными условиями.

Разработанный способ может быть рекомендован в качестве основополагающей стратегии управления приводом ведущих мостов при разработке алгоритмического и программного обеспечений электронной системы регулирования тягового усилия многоприводных колесных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ванцевич, В. В.** Управление дифференциалами многоприводных колесных машин / В. В. Ванцевич, М. С. Высоцкий, А. Д. Закревский. – Минск : Науч. центр проблем механики машин АН Беларуси, 1994. – 22 с.
2. **Ванцевич, В. В.** Направления развития электронных систем управления тяговыми усилиями ведущих мостов и колес большегрузных автомобилей и автопоездов : обзорн. информ. с анализом и выводами / В. В. Ванцевич, М. С. Высоцкий, В. И. Кабанов. – Минск : Науч. центр проблем механики машин АН Беларуси, 1994. – 37 с.
3. **Высоцкий, М. С.** Управление межосевым и межколесным приводом большегрузных автомобилей / М. С. Высоцкий, Д. А. Дубовик, С. В. Харитончик // Весці НАН Беларусі. – 2005. – № 3. – С. 30–35.
4. **Пат. 2163868 РФ, МПК⁷ В 60 К 17/346, В 60 К17/04.** Трансмиссия транспортной машины высокой проходимости / А. Н. Пахомов, Д. Н. Назаров ; заявитель Военный автомоб. ин-т. – № 98117680/28 ; заявл. 25.09.98 ; опубл. 10.03.01. – 5 с.
5. **Пат. 6584398 US, МПК В 60 К 17/346, В 60 К 23/04, В 60 К 23/08.** Method and device for exercising a differential blocking function for a vehicle / A. Erban ; заявитель BOSCH GMBH ROBERT ; заявл. 11.10.00 ; опубл. 24.06.03. – 11 с.
6. **Пат. 2298486 РФ, МПК⁷ В 60 К 23/04, G 01 М 17/00, F 16 Н 48/20.** Способ управления дифференциалами многоприводных колесных машин / М. С. Высоцкий, Д. А. Дубовик, М. М. Белоус ; заявитель Объед. ин-т машиностр. НАН Беларуси. – № 2005128118/11 ; заявл. 08.09.05 ; опубл. 10.05.07, Бюл. № 13. – 5 с.
7. **Высоцкий, М. С.** Математическое моделирование криволинейного движения колесных машин / М. С. Высоцкий, Д. А. Дубовик // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2008. – № 2. – С. 6–15.
8. **Платонов, В. Ф.** Полноприводные автомобили / В. Ф. Платонов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1989. – 312 с.
9. **Высоцкий, М. С.** Коэффициент полезного действия ходовых систем колесных машин / М. С. Высоцкий, Д. А. Дубовик // Докл. НАН Беларуси. – 2007. – Т. 51, № 2. – С. 91–94.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Материал поступил 31.07.2008

**M. S. Vysotsky, D. A. Dubovik,
M. M. Belous, E. V. Mylnikov**
**Control mode of differential gear of driving
axles of multidriving wheeled cars**

A control mode of differential gear of driving axles of multidriving wheeled cars with an improved algorithm which takes into consideration current road and coupling status at deblocking of differential gear has been developed. The results of the research of the developed control mode influence of driving axle gear on drive wheel trailing and track system effectiveness of МЗКТ-79091 off-road vehicles with 8×8 wheel arrangement are given in the paper.

Электронная библиотека
Белорусско-Российского университета