

УДК 629.113 (075.8)

Мормило Я.М.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЛОКИРОВОЧНОГО МОМЕНТА ДВУХРЯДНОГО КУЛАЧКОВОГО МЕЖКОЛЕСНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛА ПРИ ПОЛНОМ ВЫВЕШИВАНИИ ОДНОГО ИЗ КОЛЕС

Введение.

При проектировании нерельсовых транспортных средств, предназначенных для эксплуатации, в том числе, в условиях полного бездорожья, вопрос проходимости является одним из ключевых при выборе типа и конструкции движителя и трансмиссии. В последнее время в мире для таких машин просматривается стойкая тенденция к смещению приоритетов в сторону колесного движителя по сравнению с движителем гусеничным. В связи с этим задача повышения проходимости колесных машин в условиях полного бездорожья является актуальной [1].

Анализ последних достижений и публикаций.

Вопросам распределения мощности между колесами и мостами в современных автомобилях уделено много внимания в научной и технической литературе. В последнее время к классическим конструкциям дифференциалов, описанных в работах [2–5], добавилось заметное количество относительно новых конструкций [6–9]. Однако для военной колесной техники и полноприводных автомобилей многоцелевого назначения, как правило, по-прежнему используется или полная блокировка обычных дифференциалов с ручным управлением или самоблокирующиеся кулачковые дифференциалы [2–5].

Первый вариант имеет максимально возможные характеристики проходимости при блокировании дифференциального привода и управляемости при отключении блокировки на дорогах с твердым покрытием. Однако наиболее простой и компактный способ управления блокировкой при помощи зубчатой муфты требует полной остановки машины и ручного управления. Второй вариант обеспечивает определенную автоматичность, но имеет отнюдь не максимальные характеристики и проходимости и управляемости. Проблема кулачковых дифференциалов состоит в том, что они никогда не отключаются и при существенно криволинейном движении по дорогам с твердым покрытием вызывают большое сопротивление повороту. Кроме того, кулачковые дифференциалы имеют блокировочный момент, который зависит от передаваемой дифференциалом нагрузки и при вывешивании одного из колес моста не могут обеспечить достаточную проходимость машины. Также кулачковые дифференциалы достаточно сложны в производстве и требовательны к применяемым маслам.

В работах [1, 10–12] автором этой публикации вместе с соавторами был начат цикл работ, посвященных разработке межколесного дифференциала с внутренней автоматичностью, который бы удовлетворял требованиям и к тяговой проходимости, и к динамике машины и одновременно не препятствовал ее криволинейному движению. В этих исследованиях было установлено, что среди самоблокирующихся дифференциалов повышенного трения наиболее рациональные характеристики имеют дифференциалы, в которых степень блокировки зависит от квадрата разности угловых скоростей полуосей и от нагрузки. Для принятия решения о выборе типа дифференциала для кулачковых дифференциалов, относящихся к дифференциалам с коэффициентом блокировки зависящим от нагрузки, не было обнаружено никакой экспериментальной информации о величине блокировочного момента при вывешивании одного из ведущих колес.

© Я.М. Мормило, 2019

Цель и постановка задачи

Целью данной работы является экспериментальное определение блокировочного момента межколесного кулачкового дифференциала колесного бронетранспортера при полном вывешивании одного из ведущих колес.

Эта задача может быть актуальна как для определения наиболее эффективного варианта конструкции дифференциала, так и для определения граничных показателей проходимости существующих бронетранспортеров при диагональном вывешивании.

Основная часть

Двухрядный кулачковый дифференциал относится к самоблокирующимся дифференциалам повышенного трения, в которых блокировочный момент зависит от передаваемой нагрузки [2–5]. Конструкция исследуемого дифференциала представлена на рис. 1.

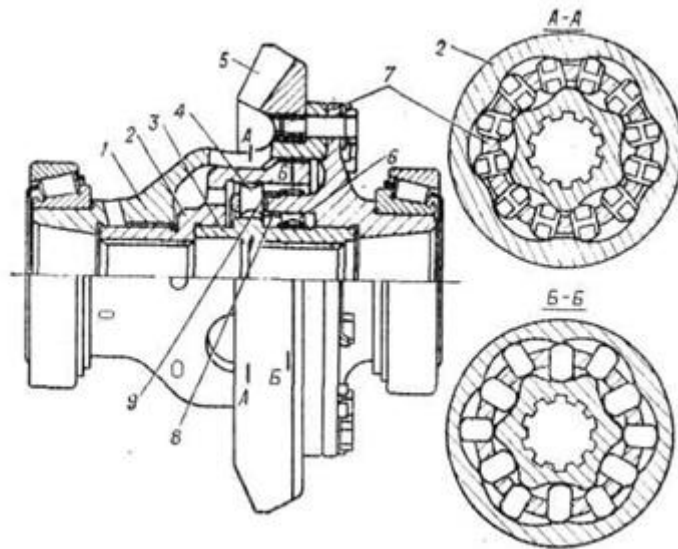


Рисунок 1 – Конструкция двухрядного кулачкового дифференциала

Для проведения испытаний был взят технически исправный четвертый мост колесного бронетранспортера БТР-4 В1318.43.010сб, серийный номер 01.15.03.10. Кинематическая схема моста представлена на рис. 2.

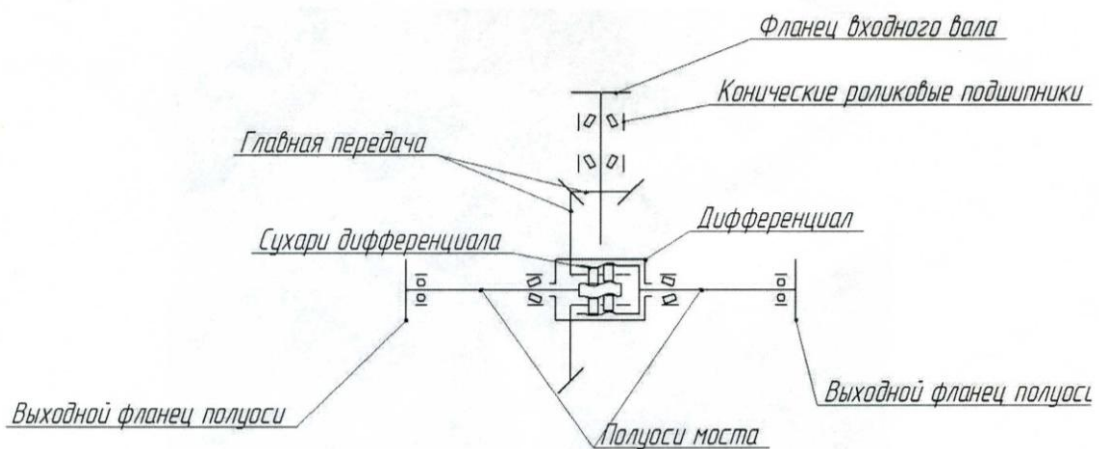


Рисунок 2 – Кинематическая схема четвертого моста колесного бронетранспортера БТР-4

Замеры проводились при помощи измерительного комплекса стенда испытаний редукторов опытного производства ГП «ХКБМ им. А.А. Морозова» без нагрузки (рис. 3). Регулируемый приводной электродвигатель подсоединялся к фланцу входного вала (рис. 2). На этом же фланце измерялся подводимый крутящий момент и частота вращения. Измерения проводились при температуре масла в редукторе главной передачи и дифференциала в диапазоне от 60°C до 80°C. Частота вращения фланца входного вала изменялась от 100 мин⁻¹ до 1200 мин⁻¹ через каждые 20 мин⁻¹. Приводной момент фиксировался в свободном режиме вращения фланцев полуосей и при фиксации левой полуоси специальным технологическим приспособлением (рис. 4).

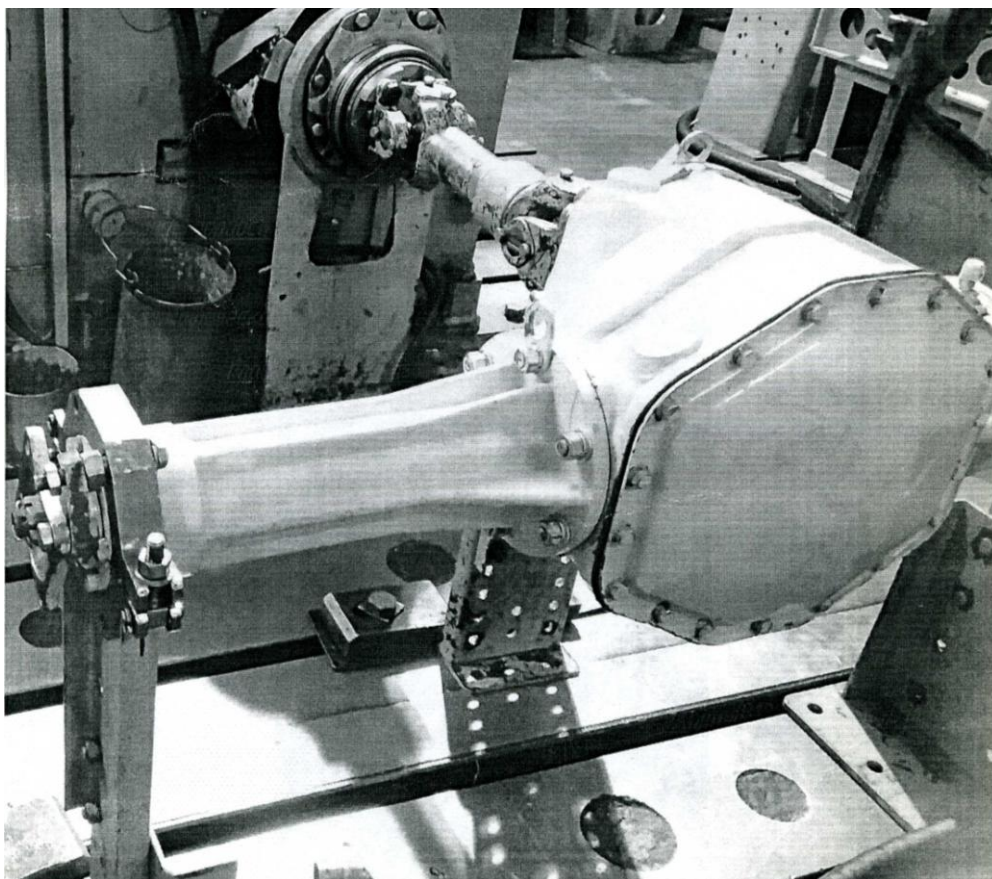


Рисунок 3 – Установка моста на испытательном стенде

Результаты измерений представлены на графиках (рис. 5). Здесь $M_{св}$ – приводной крутящий момент при свободных полуосях ($M_{св}$ – экспериментальные значения, $M_{св}^*$ – аппроксимированная функция); $M_{ост}$ – приводной крутящий момент при закрепленной левой полуоси ($M_{ост}$ – экспериментальные значения, $M_{ост}^*$ – аппроксимированная функция); $M_{бл}$ – разница между аппроксимированными приводными крутящими моментами при свободных полуосях и закрепленной левой полуосью, которая характеризует блокировочный момент дифференциала.

Для получения максимальной силы тяги моста при одном вывешенном (правом) колесе P_{max} необходимо учесть передаточные отношения собственно главной передачи $i_{гп}$, колесного редуктора $i_{кр}$ и их КПД $\eta_{гп}$, $\eta_{кр}$, а также радиус колеса $R_{вк}$:

$$P_{max} = \frac{M_{бл} i_{гп} i_{кр} \eta_{гп} \eta_{кр}}{R_{вк}}.$$

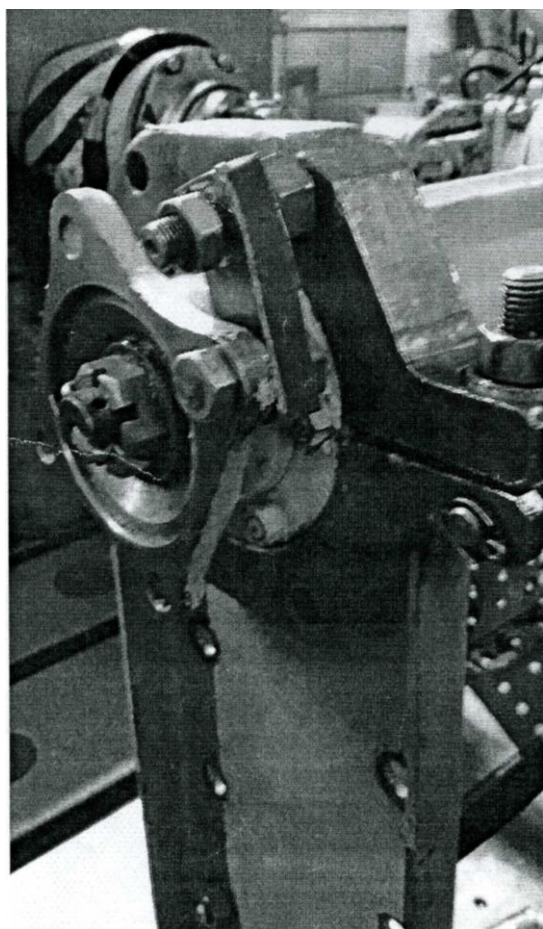


Рисунок 4 – Крепление фланца левой полуоси на корпус

Аналогично силе тяги пересчитывается частота вращения буксующего колеса:

$$n_{\text{букс}} = \frac{2n_{\text{вх}}}{i_{\text{ГП}} i_{\text{кр}}},$$

где $n_{\text{вх}}$ – частота вращения фланца входного вала исследуемого моста.

С учетом значений констант для колесного бронетранспортера БТР-4: $i_{\text{ГП}}=1,32$; $i_{\text{кр}}=4,33$; $\eta_{\text{ГП}}=0,95$; $\eta_{\text{кр}}=0,98$; $R_{\text{БК}} \approx 0,525$ м и аппроксимирующих функций:

$$M_{\text{св}}^* = 0,00644n_{\text{вх}} + 3,27885;$$

$$M_{\text{ост}}^* = 5,7435234 \cdot 10^{-12} \cdot n_{\text{вх}}^4 + 3,409567 \cdot 10^{-6} \cdot n_{\text{вх}}^2 + 7,46532997766$$

построен график (рис. 6) зависимости силы тяги одного моста от частоты вращения буксующего полностью вывешенного колеса

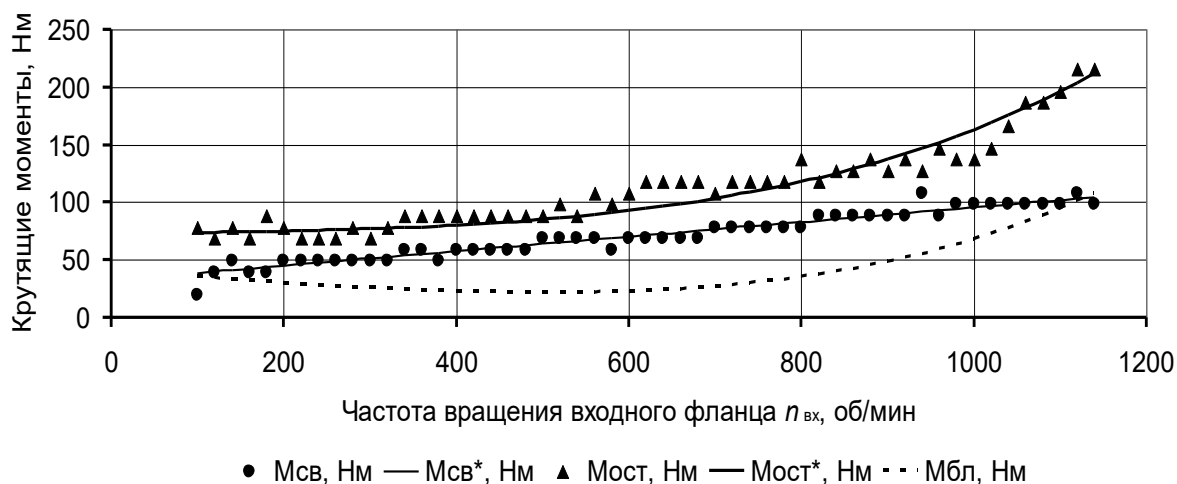


Рисунок 5 – Зависимости крутящих моментов на входном фланце от частоты его вращения

Из анализа графиков на рис. 5 и 6 следует, что максимальная сила тяги ведущего моста при полном вывешивании одного из колес составляет 1091 Н при частоте вращения буксующего колеса 399 мин^{-1} , что соответствует вращению входного фланца ведущего моста для движения бронетранспортера со скоростью 11 м/с (39,6 км/ч). При попытке дальнейшего повышения скорости буксования на частоте $n_{\text{вх}}=1160 \text{ мин}^{-1}$ про-

изошло заклинивание дифференциала и обрыв фиксирующего полуось технологического приспособления. При малых частотах вращения вывешенного буксующего колеса сила тяги ведущего моста колеблется в пределах 200...400 Н, что составляет приблизительно 0,42...0,84% от максимальной силы тяги моста по сцеплению движителя с грунтом на сухом и чистом асфальтобетоне и 0,66...1,32% от максимальной силы тяги моста по двигателю на первой передаче нормального ряда для бронетранспортера БТР-4.



Рисунок 6 – Зависимость силы тяги на ведущем мосте от частоты вращения вывешенного буксующего колеса

Выводы

Проведенные испытания и расчеты показали, что:

1) Сила тяги ведущего моста с двухрядным кулачковым дифференциалом при полном вывешивании одного из колес (правого) существенно зависит от частоты вращения буксующего колеса и достигает максимальной величины в 1091 Н при частоте вращения буксующего колеса 399 мин⁻¹. Эта частота вращения соответствует вращению входного фланца ведущего моста для движения бронетранспортера со скоростью 11 м/с (39,6 км/ч) после чего наступает заклинивание дифференциала.

2) Полученные значения для силы тяги ведущего моста с двухрядным кулачковым дифференциалом при полном вывешивании одного из колес (правого) недостаточны для уверенного преодоления бронетранспортером препятствий типа «овраг» или «бархан» с диагональным вывешиванием и препятствий типа «ров» с последовательным вывешиванием мостов.

3) Для синтеза межколесного дифференциала с внутренней автоматичностью, который бы удовлетворял требованиям и к тяговой проходимости, и к динамике машины и одновременно не препятствовал ее криволинейному движению, окончательно принят только дифференциал, в котором величина блокировочного момента зависит от квадрата разности угловых скоростей полуосей.

Литература: 1. Волонцевич Д.О. К вопросу определения зоны нечувствительности самоблокирующихся межколесных дифференциалов с коэффициентом блокировки, зависящим от

скорости относительного вращения колес / Д.О. Волонцевич, Я.М. Мормило // *Механіка та машинобудування*, – №1, – 2016. – С. 30–35. **2.** Проектирование полноприводных колесных машин: Учебник для вузов: в 3 т., Т.2 / Б.А. Афанасьев, Л.Ф. Жеглов, В.Н. Зузов и др.; Под ред. А.А. Полунгяна. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 528 с.: ил. **3.** Павлов В.В. Проектровочные расчеты транспортных средств специального назначения (ТССН): учеб. пособие / В.В. Павлов. – М.: МАДИ, 2014. – 116 с. **4.** Конструирование и расчет колесных машин высокой проходимости: Учебник для ВТУЗов / Н.Ф. Бочаров, И.С. Цитович, А.А. Полунгян и др.; Под общ. ред. Н.Ф. Бочарова, И.С. Цитовича. – М.: Машиностроение, 1983. – 299 с. **5.** Яскевич З. Ведущие мосты. Пер. с польск. Г.В. Кориунов, – М.: Машиностроение, 1985. – 600 с. **6.** Differential (mechanical device) from Wikipedia. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Differential_%28mechanical_device%29; 28 January, 2018. **7.** Locking differential from Wikipedia. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Locking_differential; 22 July, 2017. **8.** Limited-slip differential from Wikipedia. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Limited-slip_differential; 10 February, 2018. **9.** Mihailidis A., Nerantzis I. Recent Developments in Automotive Differential Design. In book: *Power Transmissions. Proceedings of the 4th International Conference, held at Sinaia, Romania, June 20–23, 2012.* – Volume 13 of the series *Mechanisms and Machine Science.* –P.P. 125–140. DOI 10.1007/978-94-007-6558-0_8. **10.** Волонцевич Д.О. К вопросу определения нагрузочных режимов блокируемых и самоблокирующихся межколесных дифференциалов военных колесных машин / Д.О. Волонцевич, Я.М. Мормило // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Транспортне машинобудування. – X. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 14 (1236). – С. 175-179. **11.** Mormylo Ia. Study of the Possibility of Using Gear Pumps without Additional Friction Discs for Hydrostatic Locking of Automobile Differentials / Ia. Mormylo // *Mechanics, Materials Science and Engineering*, September 2018 – ISSN 2412-5954, –Vol. 17 – *Mechanical Engineering and Physics*, – 8 p. DOI 10.2412/mmse. 73.48.557. **12.** Volontsevych D., Veretennikov Ie., Mormylo Ia., Karpov V. Evaluation of the efficiency of the vehicle with various inter-wheeled differentials for different clutch conditions on sides in acceleration regime // *Materials of XXVII International Scientific Conference «Trans and Motauto'2019»*, 17–20.06.2019, Varna, Bulgaria.

Bibliography (transliterated): **1.** Volontsevych,D.O., Mormylo Ia.M. (2016) [*K voprosu opredeleniya zonyi nechuvstvitelnosti samoblokiruyuschihsia mezhkolesnyih differentsialov s koeffitsientom blokirovki, zavisyaschim ot skorosti otnositelnogo vrascheniya kolos*] On the determination of insensitivity zone self-locking cross-axle differential with lock ratio, speed-dependent relative rotation of wheels (in Russian). *Mehanika ta mashinobuduvannya (Ukraine)*; 1, 30-35. **2.** Afanasev B.A., Zheglov L.F., Zuzov V.N. and others, Polungyan A.A. – editor. (2008). [*Proektirovanie polnoprivodnyih kolesnyih mashin: Uchebnik dlya vuzov: v 3 t., T.2*] Design of all-wheel drive wheeled vehicles: Textbook for high schools (in Russian) in 3 volumes, V.2. Moscow: Publishing house of the MSTU named after N.E. Bauman, 528. **3.** Pavlov V.V. (2014). [*Proektirovochnyye rascheti transportnyih sredstv spetsialnogo naznacheniya*] Calculations for designing of the special vehicles: Textbook (in Russian). Moscow: Publishing house of the Moscow Automobile and Road Institute, 116. **4.** N.F. Bocharov, I.S. Citovich, A.A. Polungyan and others, Bocharov N.F. and Citovich I.S. – editors. (1983). [*Konstruirovaniye i raschet kolesnyh mashin vysokoj prohodimosti: Uchebnik dlya VTUZov*] Design and calculation of wheeled vehicles of high cross: A textbook for high schools (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 299. **5.** Z. Yaskevich (1985). [*Vedushie mosty. Per. s polsk. G.V. Korshunov*] Driving axles (in Russian) Translation from Polish by G.V. Korshunov, Moscow: Mashinostroenie, 600. **6.** Differential (mechanical device) from Wikipedia. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Differential_%28mechanical_device%29; 28 January, 2018. **7.** Locking differential from Wikipedia. Retrieved from

https://en.wikipedia.org/wiki/Locking_differential; 22 July, 2017. **8.** Limited-slip differential from Wikipedia. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Limited-slip_differential; 10 February, 2018. **9.** Mihailidis A, Nerantzis I. (2012). Recent Developments in Automotive Differential Design. In book: Power Transmissions. Proceedings of the 4th International Conference, held at Sinaia, Romania, June 20–23, 2012. – Volume 13 of the series Mechanisms and Machine Science. 125–140. DOI 10.1007/978-94-007-6558-0_8. **10.** Volontsevych D.O., Mormylo Ia.M. (2017) [К вопросу определения нагрузочных режимов блокируемых и самоблокирующихся межколесных дифференциалов военных колесных машин] To the question of determining the load mode of blockable and self-blockable cross-axle differentials of military wheeled vehicles (in Russian). Visnyk NTU "KhPI", Zbirnyk naukovykh prats'. Seriya: Transportne mashynobuduvannya. – Kharkiv: NTU «KhPI» (Ukraine) 14 (1236), 175-179. **11.** Mormylo Ia. (2018) Study of the Possibility of Using Gear Pumps without Additional Friction Discs for Hydrostatic Locking of Automobile Differentials. Mechanics, Materials Science and Engineering, – ISSN 2412-5954, –Vol. 17 – Mechanical Engineering and Physics. DOI 10.2412/mmse.73.48.557. **12.** Volontsevych D., Veretennikov Ie., Mormylo Ia., Karpov V. Evaluation of the efficiency of the vehicle with various inter-wheeled differentials for different clutch conditions on sides in acceleration regime // Materials of XXVII International Scientific Conference «Trans and Motauto '2019», 17–20.06.2019, Varna, Bulgaria.

Мормило Я.М.

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ БЛОКУВАЛЬНОГО МОМЕНТУ
ДВОРЯДНОГО КУЛАЧКОВОГО МІЖКОЛІСНОГО ДИФЕРЕНЦІАЛУ ПРИ
ПОВНОМУ ВИВІШУВАННІ ОДНОГО З КОЛІС**

У роботі експериментально визначені залежності блокувального моменту дворядного кулачкового диференціала при повному вивішуванні одного з коліс від частоти обертання вхідного фланця головної передачі, а також сили тяги ведучого мосту залежно від частоти обертання колеса, що буксує. Зроблено висновок про недостатність одержуваної сили тяги для впевненого подолання бронетранспортером перешкод типу «яр» або «бархан» з діагональним вивішуванням і перешкод типу «рів» з послідовним вивішуванням мостів.

Ya.Mormylo

**EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE BLOCKING MOMENT OF A DOUBLE
ROW CAM INTER-WHEEL DIFFERENTIAL AT FULL HANGING ONE
OF THE WHEELS**

The work experimentally determined dependencies of the blocking moment of a double row cam inter-wheel differential at full hanging one of the wheels depending on the speed of the input flange of the main gear as well as the dependence of the thrust force of the drive axle from the rotational speed of the skid wheel. The conclusion was drawn that the received traction force was insufficient for an armored personnel carrier to overcome obstacles like “ravine” or “sand dunes” with diagonal hanging and obstacles like “moat” with sequential hanging of axles.