



ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СПОСОБА ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РАЗДАЧИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ И ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРШНЕВЫХ ПАЛЬЦЕВ ДВС

Э. С. Савенко¹, Д. Д. Гаевой², Д. В. Филимонов³, Д. С. Савельев⁴, Д. А. Шкильнюк⁵

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

Российская Федерация, Донецкая Народная Республика,

286123, г. о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2.

E-mail: ¹ e.s.savenko@domnasa.ru, ² gaevoy.d.d-aah-24a@domnasa.ru, ³ filimonov.d.v-aah-24a@domnasa.ru,

⁴ savelev.d.s-ptm-36a@domnasa.ru, ⁵ shkilnyuk.d.a-aah-24a@domnasa.ru

Получена 17 ноября 2023; принята 24 ноября 2023.

Аннотация. В настоящее время получило развитие применение высокоэнергетического способа пластического деформирования металла с использованием энергии высоковольтного импульсного разряда в жидкости (электрогидравлический эффект), а на его основе – электрогидравлической обработки. В статье описан метод восстановления поршневых пальцев двигателей внутреннего сгорания за счет применения способа электрогидравлической раздачи. Определена степень влияния электрических параметров этого процесса на величину деформации поршневых пальцев в зависимости от применяемого материала изделия. Выбрана оптимальная технология восстановления и определены оптимальные параметры процесса электрогидравлической раздачи. Разработаны технические требования на восстановление поршневых пальцев. Спроектирован технологический узел раздачи поршневых пальцев. Определены основные технические характеристики параметров электроразрядного устройства установки. Расчетным методом определены режимы и параметры процесса электрогидравлической раздачи поршневых пальцев с сохранением их усталостной долговечности, статической прочности и износостойкости.

Ключевые слова: восстановление, поршневой палец, электрогидравлическая раздача, износ, ремонтный размер, электроразряд, пластическое деформирование металла, электромагнитная энергия, энергия взрывчатых веществ.

INFLUENCE OF PARAMETERS OF THE ELECTROHYDRAULIC DISTRIBUTION METHOD ON THE EFFICIENCY OF DEFORMATION AND CHANGES IN THE PHYSICAL PROPERTIES OF PISTON PINS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Eduard Savenko¹, Danil Gaevoy², Denis Filimonov³, Dmitry Savelyev⁴, David Shkilnyuk⁵

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,

Russian Federation, 286123, Makeevka, Derzhavin st., 2.

E-mail: ¹ e.s.savenko@domnasa.ru, ² gaevoy.d.d-aah-24a@domnasa.ru, ³ filimonov.d.v-aah-24a@domnasa.ru,

⁴ savelev.d.s-ptm-36a@domnasa.ru, ⁵ shkilnyuk.d.a-aah-24a@domnasa.ru

Received 17 November 2023; accepted 24 November 2023.

Abstract. Currently, the use of a high-energy method of plastic deformation of metal using the energy of a high-voltage pulsed discharge in a liquid has been developed (the electrohydraulic effect), and on its basis electrohydraulic processing. The article describes a method for restoring piston pins of internal combustion engines through the use of an electro-hydraulic distribution method. The degree of influence of the electrical parameters of this process on the amount of deformation of the piston pins is determined depending on the



product material used. The optimal recovery technology was selected and the optimal parameters of the electrohydraulic distribution process were determined. Technical requirements for the restoration of piston pins have been developed. A technological unit for distributing piston pins has been designed. The main technical characteristics of the parameters of the electric discharge device of the installation have been determined. The calculation method was used to determine the modes and parameters of the process of electrohydraulic expansion of piston pins while maintaining their fatigue life, static strength and wear resistance.

Keywords: restoration, piston pin, electrohydraulic expansion, wear, repair size, electric discharge, plastic deformation of metal, electromagnetic energy, energy of explosives.

Введение

Основная задача создания и повсеместного внедрения принципиально новой техники и материалов заключается в экономии сырья и топливно-энергетических ресурсов, а также во вторичном использовании материальных ресурсов [1–11]. В связи с этим, большое значение имеет разработка прогрессивных технологических процессов, в особенности процессов восстановления деталей массового производства [12–17]. К таким относится – поршневой палец автомобильных двигателей. Только в автомобильной промышленности ежегодно изготавливается свыше 50 млн поршневых пальцев диаметром 20–58 мм, длиной 45–114 мм и массой 0,1–1,750 кг [18].

Анализ существующих технологий восстановления поршневых пальцев ДВС показал, что существующие способы восстановления поршневых пальцев, в ряде случаев, отличаются сложностью процесса, низкой производительностью, значительными расходами тепловой и электрической энергии [1, 8, 12, 13, 17–20]. Ни один из существующих способов не является универсальным и по различным причинам неприменим для восстановления всех видов поршневых пальцев.

Анализ особенностей *электрогидравлической обработки* установил, что этот процесс является одним из перспективных способов восстановления поршневых пальцев ДВС. Данным способом возможно восстановление поршневых пальцев всех видов двигателей, из любого материала и при любой геометрии внутреннего сечения.

Актуальность, цель и задачи исследования

В настоящее время получило развитие применение высокоэнергетического способа пластического деформирования металла с использованием энергии высоковольтного импульсного

разряда в жидкости – электрогидравлический эффект, а на его основе электрогидравлической обработки.

Цель работы – изучение влияния параметров способом электрогидравлической раздачи (ЭГР) на эффективность деформации и изменение физических свойств поршневых пальцев ДВС.

Задачи работы:

- установить степень влияния электрических параметров процесса электрогидравлической раздачи на величину деформации поршневых пальцев в зависимости от применяемого материала изделия;
- выбрать оптимальную технологию восстановления и определить оптимальные параметры процесса электрогидравлической раздачи;
- разработать технические требования на восстановление поршневых пальцев;
- спроектировать технологический узел раздачи поршневых пальцев;
- определить основные технические характеристики параметров электроразрядного устройства установки.

Основной материал

Поршневой палец двигателя внутреннего сгорания подвергается воздействию нагрузок, вызванных давлением газов и инерцией массы поршня и колец. Характер нагрузки – переменный, ударный. Ресурс надежности и долговечности кинематических пар «поршневой палец – втулка» и «поршневой палец – поршень» определяется износостойкостью их рабочих поверхностей. В процессе работы к этим поверхностям, смазка, в основной массе конструкций, подается разбрызгиванием. Несмотря на то, что моторное масло подвергается фильтрации, в нем, в виде отдельных частиц встречается абразив. В связи с указанными условиями,

смазки на рабочих поверхностях пальцев работают в условиях граничного трения.

Выбор оптимальной технологии восстановления поршневых пальцев ДВС способом ЭГР должен проводиться на основе анализа влияния параметров процесса на эффективность деформации пальцев при сохранении их физических свойств, установленных нормативной технической документацией. В результате таких исследований, в частности, применительно к поршневому пальцу двигателя ЗИЛ-5301, можно получить закономерности и количественные показатели соотношения изменения величины деформации пальца и его физического состояния, с одной стороны, и изменения параметров взрывного патрона, рабочей среды и электрического разряда, с другой, что позволит выбрать оптимальный технологический процесс восстановления [21–24].

Влияние электрических параметров процесса ЭГР, параметров взрывного патрона и состава передающей жидкости на эффективность деформации поршневого пальца оценивалось либо по величине изменения наружного диаметра последнего, либо по величине давления гидропотока, создаваемого внутри полости.

Первоначально определялись оптимальные геометрические параметры, материал и конструкция изолятора, материал и диаметр взрывающейся проволоки, состав рабочей передающей жидкости.

Оптимальные параметры определялись при обеспечении либо максимальной деформации образца, либо максимального давления гидропотока при минимальных энергетических затратах.

Применяемый для изготовления изолятора диэлектрик должен исключать возможность замыкания искрового разряда на поверхность детали, создавать герметизацию внутренней полости и обеспечивать технологичность изготовления.

Рабочее напряжение при ЭГР достигает 30–50 кВ, поэтому в целях безопасности был выбран материал патрона, который обеспечивал электрическую прочность при напряжении 65 кВ.

Взрывающаяся проволока служит для инициирования разряда. Для этих целей применяли проволоку из алюминия, меди, стали, никрома и других материалов.

Рабочая среда, применяемая при ЭГР, должна обеспечивать создание мощного гидропотока, который передает давление на стенки детали. Жидкость и раствор должны быть технологически применимы в производственных процессах. Следовательно, для этих целей используют техническую воду, глицерин, масло и другие материалы.

Рабочая среда (вода, масло) подавалась непосредственно во внутреннюю полость детали или устройства, где осуществлялся электрический разряд, или же помещалась заранее в герметичный корпус патрона (глицерин и различные компоненты на его основе).

Разработка технологии восстановления поршневых пальцев способом ЭГР выполнялась на примере поршневого пальца карбюраторного двигателя ЗИЛ-5 301, изготавливаемого в соответствии с ГОСТ 1 776-88 из стали 15Х ГОСТ 4 543-88 и стали 45 ГОСТ 1 050-88 по чертежу III-1004020 (рис. 1).

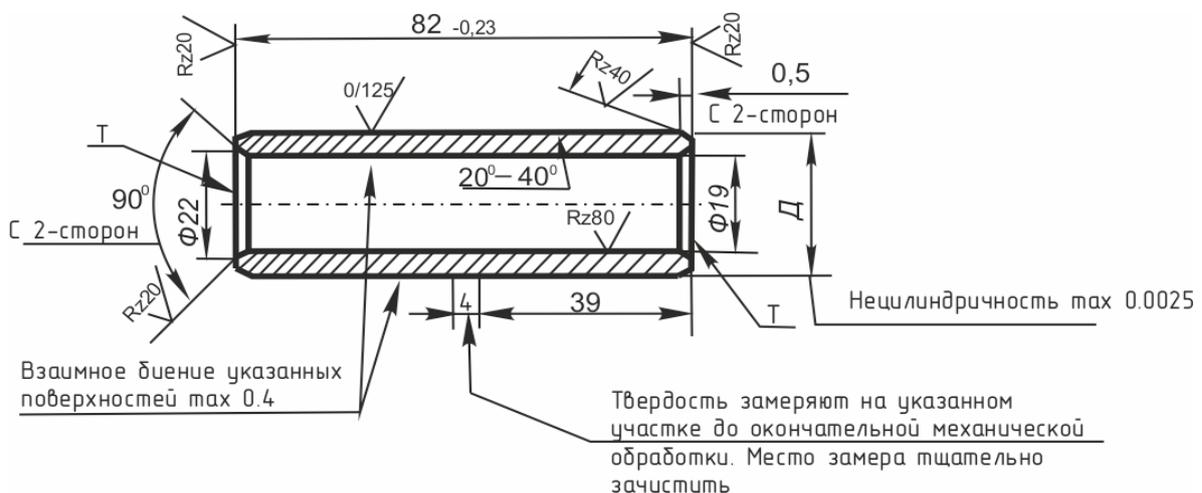


Рисунок 1 – Поршневой палец двигателя ЗИЛ-5 301.

Исследования влияния глубины цементованного, закаленного слоя на пластичность изделия рассматривались образцы, изготовленные из сталей марки I5X, I2XH, 45 по чертежу поршневого пальца двигателя ЗИЛ-5 301 № 130-1004020.

Пальцы, изготовленные из сталей I5X и 45, подвергались цементации и закалке наружной поверхности на глубину 0,5; 1,0; 1,5 мм.

Пальцы, изготовленные из стали I2XH, подвергались цементации и закалке наружной и внутренней поверхности на глубину 0,5; 1,0; 1,5 мм [22, 25–32].

Исследование остаточных напряжений, твердости, микроструктуры поршневых пальцев при воздействии электрогидравлической обработки осуществлялось на образцах поршневых пальцев двигателя ЗИЛ-5 301.

Технические требования поршневого пальца определялись по наружной поверхности; риски, черновины, забоины следы коррозии и другие дефекты – не допускаются. Биение торцов Т относительно поверхности Д max 0,05. Отсутствие трещин проверять на магнитном дефектоскопе с обязательным последующим размагничиванием. Микроструктура закаленного цементованного слоя должна представлять собой мартенсит

тонкого строения свободный цементит в виде игл или сплошной сетки не допускается. Микроструктура сердцевины должна иметь вид малуглеродистого мартенсита в состоянии распада и феррита. Глубина цементованного слоя 1–1,4 мм. Резкий переход от цементованного слоя к сердцевине не допускается. Внутреннюю поверхность предохранить от цементации. Твердость HRC 58–65. Колебание твердости max HRC 5. Допускается понижение твердости до HRC 45 на расстоянии по 3 мм от каждого торца. Твердость внутренней поверхности max HRC 35.

Спроектированный технологический узел предназначен для размещения поршневого пальца совместно с патроном разового действия, герметизации внутренней полости пальца, подвода технологической жидкости и электрического разряда, осуществления раздачи.

Технологический узел (рис. 2) состоит из подвижной плиты 7, клинового зажима 5, 6, поворотного стола 12 с гнездами 14 для размещения пальцев в сборе с патронами разового действия. Гнезда для размещения пальцев съемные и меняются в зависимости от геометрических размеров восстанавливаемых пальцев.

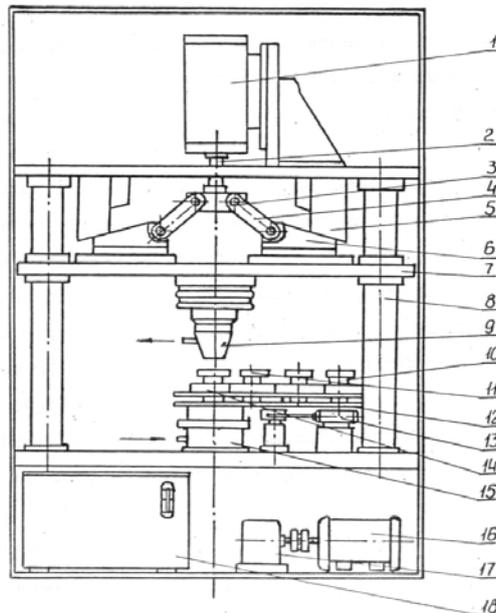


Рисунок 2 – Технологический узел ЭГУ: 1 – гидроцилиндр; 2 – шток цилиндра; 3 – вилка; 9 – тяга; 5 – неподвижный клин; 6 – подвижный клин; 7 – плита подвижная; 8 – колонна направляющая; 9 – подвижный положительный электрод; 10 – палец поршневой; 11 – электроизоляционный патрончик; 12 – стол поворотный; 13 – гидроцилиндр поборота стола; 14 – гнездо, 15 – отрицательный электрод; 16 – электродвигатель привода маслонасоса; 17 – насос масляный; 18 – емкость с маслом.

Генератор импульсов тока состоит из силового трансформатора, статических конденсаторов, формирующего разрядного устройства и предназначен для обеспечения разряда необходимой мощности.

Работа ЭГУ осуществляется в следующей последовательности:

шток гидроцилиндра 2 перемещает подвижные клинья 6 совместно с плитой 7 и подвижным электродом 9 до упора в поршневой палец, установленный в гнездо 14 поворотного стола 12, и заклинивает клинья 5 и 6, чем обеспечивается герметизация взрывной полости. Рабочая жидкость по каналу в отрицательном электроде 15 заполняет герметизированную внутреннюю полость поршневого пальца. Накопленная в статических конденсаторах до требуемой величины электрическая энергия через формирующее устройство поступает на подвижный электрический электрод 9, цепь замыкается на неподвижный электрод 15, и осуществляется электрический разряд.

После осуществления электроразряда шток 2 приподнимает плиту 7 и электрод 9 в верхнее положение, поворотный стол 12 поворачивается на 30°, выталкиватель выбрасывает розданный палец в накопитель.

Изменение величины напряжения от 25 до 50 кВ обеспечивалось изменением расстояния между шарами в формирующем разрядном устройстве от 8,5 мм до 17,5 мм. Индуктивность ЭГУ по выполненной монтажной схеме составляла 5,6 мГн. Межэлектродное расстояние между длиной поршневого пальца 82 мм.

Выводы по работе

- Описан метод восстановления поршневых пальцев двигателей внутреннего сгорания за счет применения способа электрогидравлической раздачи;
- определена степень влияния электрических параметров этого процесса на величину деформации поршневых пальцев в зависимости от применяемого материала изделия;
- выбрана оптимальная технология восстановления и определены оптимальные параметры процесса электрогидравлической раздачи;
- разработаны технические требования на восстановление поршневых пальцев;
- спроектирован технологический узел раздачи поршневых пальцев;
- определены основные технические характеристики параметров электроразрядного устройства установки.

Литература

1. Automated Diagnostic System for Engine Cylinder – Piston Group / O. Saraiev, I. Saraieva, I. Gritsuk [et al.]. – Текст : непосредственный // SAE Technical Paper. – 2020. – № 2020-01-2022. – P. 1–9.
2. Агеев, М. С. Застосування комбінованих технологій відновлення для підвищення ресурсу деталей засобів транспорту / М. С. Агеев, І. В. Грицук, Е. К. Солових. – Текст : непосредственный // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ). – 2020. – Випуск 194. – С. 81–92.
3. Allmaier, H. Measuring friction in automotive engines & determining the contributions of the individual subsystems / H. Allmaier, D. E. Sander, F. M. Reich. – Текст : непосредственный // World Tribology Congress. – Torino. – 2013. – P. 117.
4. Quantification of wear by comparison of surface topography data / G. Vorlaufer, S. Ilincic, F. Franek, A. Pauschitz. – Текст : непосредственный // Encyclopedia of tribology. – 2012. – № 967. – P. 4087–4093.

References

1. Saraiev, O.; Saraieva, I.; Gritsuk, I. [et al.]. Automated Diagnostic System for Engine Cylinder – Piston Group. – Text : direct. – In: *SAE Technical Paper*. – 2020. – № 2020-01-2022. – P. 1–9.
2. Ageev, M. S.; Hrytsuk, I. V.; Solovykh, E. K. Application of combined recovery technologies to increase the resource of parts of means of transport. – Text : direct. – In: *Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport (UkrDUZT)*. – 2020. – Issue 194. – P. 81–92. (in Russian)
3. Allmaier H.; Sander, D. E.; Reich, F. M. Measuring friction in automotive engines & determining the contributions of the individual subsystems. – Text : direct. – In: *World Tribology Congress*. – Torino. – 2013. – P. 117.
4. Vorlaufer, G.; Ilincic, S.; Franek, F. [et al.]. Quantification of wear by comparison of surface topography data. – Text : direct. – In: *Encyclopedia of tribology*. – 2012. – № 967. – P. 4087–4093.
5. Goenka, P. K.; Paranjpe, R. S. A Review of Engine Bearing Analysis Methods at General Motors. –

5. Goenka, P. K. A Review of Engine Bearing Analysis Methods at General Motors / P. K. Goenka, R. S. Paranjpe. – Текст : непосредственный // SAE Technical paper. – 2020. – № 920489. – P. 67–75.
6. Corrosion sensing coatings for steel and aluminum alloys / H. Wheat, G. Liu, A. Alonzo, K. Johnson. – Текст : непосредственный // The Proceedings of the 21 International Offshore and Polar Engineering. – 2011. – Volume 4. – P. 362–368.
7. X-ray computed tomography for quantification of secondary pore structures in PM steels / C. Gierl, B. Harrer, H. Danninger [et al.]. – Текст : непосредственный // Powder Metallurgy Progress. – 2011. – Volume 11, № 1–2. – P. 85–89.
8. Dey, A. Model prediction and experimental validation of porosity in metal spray deposit / A. Dey, S. Koria, R. Dube. – Текст : непосредственный // Powder Metallurgy Progress. – 2007. – Volume 50, № 4. – P. 359–366.
9. Michio, Tomie. Improvement of sprayed coatings with ultra high voltage EB melting / Tomie Michio, Abf Nobuyuki. – Текст : непосредственный // Trans JWRI. – 1992. – Volume 21, № 2. – P. 229–300.
10. Jinshu Rechuli, Gu Jianfeng. Heat Treat / Gu Jianfeng Jinshu Rechuli. – Текст : непосредственный // Metals. – 2013. – № 2. – P. 1–9.
11. Woods, M. The Solution of the Elrod Algorithm for a Dynamically Loaded Journal Bearings Using Multigrid Techniques / M. Woods, D. E. Brewe. – Текст : непосредственный // Tribology Transactions. – 1990. – Volume 112. – P. 52–59.
12. Vincent, B. Cavitation in dynamically loaded journal bearings using mobility method / B. Vincent, P. Maspeyrot, J. Frene. – Текст : непосредственный // Wear. – 1996. – Volume 193. – P. 155–162.
13. Ageev, M. Performance of Protective Compound Coating for HIIY Niobium Alloy. Evaluated by Thermo-Cyclic Creep Test Method / M. Ageev, B. Lyashenko, Zheng-xian Li. – Текст : непосредственный // Science Magazine Materials Protection, Periodical, Chinese. – 2017. – № 50(2). – P. 15–19.
14. Дослідження процесу імпульсного іонного вакуумного термоциклічного азотування у плазмі пульсуючого тліючого розряду / М. С. Агєєв, І. В. Грицук, А. В. Рутковський [та ін.]. – Текст : непосредственный // Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету». Технічні науки. – 2020. – № 6(291). – С. 107–116.
15. Исследование процесса вакуумного термоциклического азотирования в плазме пульсирующего тлеющего разряда. Построение математической модели процесса / А. В. Дудан, М. С. Агєєв, А. В. Рутковский [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. Машиностроение и машиностроение. – 2020. – № 4. – С. 40–48.
16. Method For Determination Of Liquefied Gas Fuel Consumption And Harmful Emissions Of Vehicles / I. Gritsuk, V. Mateichyk, V. Volkov [et al.]. – Текст : непосредственный // Transport Means Engineering – Text : direct. – In: SAE Technical paper. – 2020. – № 920489. – P. 67–75.
6. Wheat, H.; Liu, G; Alonzo, A. [et al.]. Corrosion sensing coatings for steel and aluminum alloys. – Text : direct. – In: *The Proceedings of the 21 International Offshore and Polar Engineering*. – 2011. – Volume 4. – P. 362–368.
7. Gierl, C.; Harrer, B.; Danninger, H. [et al.]. X-ray computed tomography for quantification of secondary pore structures in PM steels. – Text : direct. – In: *Powder Metallurgy Progress*. – 2011. – Volume 11, № 1–2. – P. 85–89.
8. Dey, A.; Koria, S.; Dube, R. Model prediction and experimental validation of porosity in metal spray deposit. – Text : direct. – In: *Powder Metallurgy Progress*. – 2007. – Volume 50, № 4. – P. 359–366.
9. Tomie, Michio; Nobuyuki, Abf. Improvement of sprayed coatings with ultra high voltage EB melting. – Text : direct. – In: *Trans JWRI*. – 1992. – Volume 21, № 2. – P. 229–300.
10. Gu Jianfeng, Jinshu Rechuli. Heat Treat. – Text : direct. – In: *Metals*. – 2013. – № 2. – P. 1–9.
11. Woods, M.; Brewe, D. E. The Solution of the Elrod Algorithm for a Dynamically Loaded Journal Bearings Using Multigrid Techniques. – Text : direct. – In: *Tribology Transactions*. – 1990. – Volume 112. – P. 52–59.
12. Vincent, B.; Maspeyrot, P.; Frene, J. Cavitation in dynamically loaded journal bearings using mobility method. – Text : direct. – In: *Wear*. – 1996. – Volume 193. – P. 155–162.
13. Ageev, M.; Lyashenko, B.; Zheng-xian, Li. Performance of Protective Compound Coating for HIIY Niobium Alloy. Evaluated by Thermo-Cyclic Creep Test Method. – Text : direct. – In: *Science Magazine Materials Protection, Periodical, Chinese*. – 2017. – № 50(2). – P. 15–19.
14. Ageev, M. S.; Gritsuk, I. V.; Rutkovsky, A. V. [et al.]. Investigation of the process of pulsed ion vacuum thermocyclic nitriding in plasma of a pulsating molten discharge. – Text : direct. – In: *Scientific journal «Bulletin of Khmelnytsky National University». Technical sciences*. – 2020. – № 6(291). – P. 107–116. (in Ukrainian)
15. Dudan, A. V.; Ageev, M. S.; Rutkovsky, A. V. [et al.]. Study of the process of vacuum thermocyclic nitriding in the plasma of a pulsating glow discharge. Construction of a mathematical model of the process. – Text : direct. – In: *Bulletin of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science. Mechanical Science and Engineering*. – 2020. – № 4. – P. 40–48. (in Russian)
16. Gritsuk, I.; Mateichyk, V.; Volkov, V. [et al.]. Method For Determination Of Liquefied Gas Fuel Consumption And Harmful Emissions Of Vehicles. – Text : direct. – In: *Transport Means Engineering - Operation, Fuels And Safety. Seria: Mechanical Engineering (Inymieria Mechaniczna)*. – 2022. – P. 37–44.
17. Golovan, A.; Gritsuk, I.; Popeliuk, V. [et al.]. Features of mathematical modeling in the problems of determining the power of a turbocharged engine according to the characteristics of the turbocharger. –

- Operation, Fuels And Safety. Seria: Mechanical Engineering (Inynieria Mechaniczna). – 2022. – P. 37–44.
17. Features of mathematical modeling in the problems of determining the power of a turbocharged engine according to the characteristics of the turbocharger / A. Golovan, I. Gritsuk, V. Popeliuk [et al.]. – Текст : непосредственный // SAE International Journal of Engines. – 2020. – № 13(1), 03-13-01-0001. – P. 1–12.
 18. Быков, И. А. Изготовление заготовок поршневых пальцев в автомобильной промышленности / И. А. Быков, Т. А. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Автомобильное производство. – 1984. – № 1. – С. 4–7.
 19. Application of Combined Electric Arc Coatings for Parts and Units of Vehicles Recovery in Repair Technologies / M. Ahieiev, I. Gritsuk, A. Litikova [et al.]. – Текст : непосредственный // SAE Technical Paper. – 2021. – № 2021-01-5100. – P. 1–17.
 20. Research of the Gas Fuel Supply Process on the Compression Stroke in Ship's Low-Speed Gas -Diesel Engines / E. Belousov, A. Marchenko, I. Gritsuk [et al.]. – Текст : непосредственный // SAE Technical Paper. – 2020. – № 2020-01-2107. – P. 1–13.
 21. Полупанов, Ф. П. Электрогидравлический эффект в ремонтном деле / Ф. П. Полупанов, К. Г. Балан, В. Н. Пономаренко. – Текст : непосредственный // Техника в сельском хозяйстве. – 1972. – № 12. – С. 72–74.
 22. Каспарьянц, А. Г. Использование электрогидравлического эффекта для восстановления поршневых пальцев. – Текст : непосредственный / А. Г. Каспарьянц, В. А. Какувицкий // Автомобильный транспорт. – 1982. – № 8. – С. 103–106.
 23. Electrohydraulic sheet metal forming with flexible tools / H. Pegel, L. Langstadtler, M. Herrmann [et. al.]. – Текст : электронный // MATEC Web of Conferences. – 2018. – № 190. – 6 p. – URL: https://www.matec conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/49/mateconf_icnft2018_12001.pdf (дата обращения: 17.09.2023).
 24. Zhutchkov, A. I. Pressing of tubes in tube slabs using multiple electrical discharge in liquid / A. I. Zhutchkov, N. T. Zinoviev, G. P. Filatov. – Текст : непосредственный // PLASMA PHYSICS AND PLASMA TECHNOLOGY: III International Conference. – 2000. – P. 558–561.
 25. Chace, W. G. Classification of Wire Explosions / W. G. Chace, M. A. Levine. – Текст : непосредственный // Journal of Applied Physics. – 1960. – № 31. – P. 1298.
 26. Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems) / D. Gritsuk, V. Pohorletskyi, M. Mateichyk [et. al.]. – Текст : непосредственный // SAE International. – 2020. – P. 1–14.
 27. Improving Fuel Economy of Spark Ignition Engines Applying the Combined Method of Power Regulation / Y. Gutarevych, V. Mateichyk, J. Matijoius [et. al.]. – Текст : непосредственный // Energies. – 2020. – Volume 13(5). – P. 1–19.
 28. Research of vehicle control informative functioning capacity / I. Kuric, O. Gorobchenko, O. Litikova [et. al.]. – Текст : direct. – In: SAE International Journal of Engines. – 2020. – № 13(1), 03-13-01-0001. – P. 1–12.
 18. Bykov, I. A.; Kuznetsov, T. A. Manufacturing of piston pin blanks in the automotive industry. – Text : direct. – In: *Automotive production*. – 1984. – № 1. – P. 4–7. (in Russian)
 19. Ahieiev, M.; Gritsuk, I.; Litikova, A. [et al.]. Application of Combined Electric Arc Coatings for Parts and Units of Vehicles Recovery in Repair Technologies. – Text : direct. – In: *SAE Technical Paper*. – 2021. – № 2021-01-5100. – P. 1–17.
 20. Belousov, E.; Marchenko, A.; Gritsuk, I. [et al.]. Research of the Gas Fuel Supply Process on the Compression Stroke in Ship's Low-Speed Gas -Diesel Engines. – Text : direct. – In: *SAE Technical Paper*. – 2020. – № 2020-01-2107. – P. 1–13.
 21. Polupanov, F. P.; Balan, K. G.; Ponomarenko, V. N. Electrohydraulic effect in repair business. – Text : direct. – In: *Technology in agriculture*. – 1972. – № 12. – P. 72–74. (in Russian)
 22. Kaspariyants, A. G.; Kakuevitsky, V. A. Use of the electrohydraulic effect to restore piston pins. – Text : direct. – In: *Automobile transport*. – 1982. – № 8. – P. 103–106. (in Russian)
 23. Pegel, H.; Langstadtler, L.; Herrmann, M. [et. al.]. Electrohydraulic sheet metal forming with flexible tools. – Text : electronic. – In: *MATEC Web of Conferences*. – 2018. – № 190. – 6 p. – URL: https://www.matec conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/49/mateconf_icnft2018_12001.pdf (date of access: 17.09.2023).
 24. Zhutchkov, A. I.; Zinoviev, N. T.; Filatov, G. P. Pressing of tubes in tube slabs using multiple electrical discharge in liquid. – Text : direct. – In: *Plasma physics and plasma technology : III International Conference*. – 2000. – P. 558–561.
 25. Chace, W. G.; Levine, W. G. Classification of Wire Explosions. – Text : direct. – In: *Journal of Applied Physics*. – 1960. – № 31. – P. 1298.
 26. Gritsuk, D.; Pohorletskyi, V.; Mateichyk, M. [et. al.]. Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems). – Text : direct. – In: *SAE International*. – 2020. – P. 1–14.
 27. Gutarevych, Y.; V. Mateichyk, J. Matijoius [et. al.]. Improving Fuel Economy of Spark Ignition Engines Applying the Combined Method of Power Regulation. – Text : direct. – In: *Energies*. – 2020. – Volume 13(5). – P. 1–19.
 28. Kuric, I.; Gorobchenko, O.; Litikova, O. [et. al.]. Research of vehicle control informative functioning capacity. – Text : direct. – In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Volume 776. – P. 1–11.
 29. Tsiunan, M. P.; Mateichyk, V.; Smieszek, M. [et al.]. The System for Adding Hydrogen-containing Gas to the Air Charge of the Spark Ignition Engine Using a Thermoelectric Generator. – Text : direct. – In: *SAE Technical Paper*. – 2020. – № 2020-01-2142. – P. 1–15.

- Текст : непосредственный // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Volume 776. – P. 1–11.
29. The System for Adding Hydrogen-containing Gas to the Air Charge of the Spark Ignition Engine Using a Thermoelectric Generator / M. P. Tsiunan, V. Mateichyk, M. Smieszek [et al.]. – Текст : непосредственный // SAE Technical Paper. – 2020. – № 2020-01-2142. – P. 1–15.
 30. Strength and Stability Criteria Limiting Geometrical Dimensions of a Cantilever Impeller / M. Tkachuk, O. Shut, A. Marchenko [et al.]. – Текст : непосредственный // SAE Technical Paper. – 2021. – № 2021-01-5056. – P. 11.
 31. Information system for remote monitoring of vehicle operational efficiency / M. Smieszek, V. Mateichyk, R. Symonenko [et al.]. – Текст : непосредственный // Machine Modeling and Simulations. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Volume 1199. – P. 58–71.
 32. Intelligent Transportation Systems Applications: Safety and Transfer of Big Transport Data / Yasin Celik, Metin Mutlu, Aydin Ioan Petri [et al.]. – Текст : электронный // Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure : [сайт]. – 2023. – P. 23–32. – <https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3> (дата обращения: 10.09.2023).
 30. Tkachuk, M.; Shut, O.; Marchenko, A. [et al.]. Strength and Stability Criteria Limiting Geometrical Dimensions of a Cantilever Impeller. – Text : direct. – In: *SAE Technical Paper*. – 2021. – № 2021-01-5056. – P. 11
 31. Smieszek, M.; Mateichyk, V.; Symonenko, R. [et al.]. Information system for remote monitoring of vehicle operational efficiency. – Text : direct. – In: *Machine Modeling and Simulations. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2021. – Volume 1199. – P. 58–71.
 32. Celik, Yasin; Mutlu, Metin; Ioan Petri, Aydin [et al.]. Intelligent Transportation Systems Applications: Safety and Transfer of Big Transport Data. – Text : electronic // *Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure* : [сайт]. – 2023. – P. 23–32. – <https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3> (date of access: 10.09.2023).

Савенко Эдуард Станиславович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология ремонта автомобилей.

Гаевой Данил Дмитриевич – магистрант кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология ремонта автомобилей.

Филимонов Денис Валерьевич – магистрант кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология ремонта автомобилей.

Савельев Дмитрий Сергеевич – магистрант кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология ремонта автомобилей.

Шкильнюк Давид Александрович – магистрант кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология ремонта автомобилей.

Savenko Eduard – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the Department of Automotive Transport, Service and Operation FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: car repair technology.

Gaevoy Danil – master's student of the Department of Automotive Transport, Service and Operation FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: car repair technology.

Filimonov Denis - master's student of the Department of Automotive Transport, Service and Operation FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: car repair technology.

Savelyev Dmitry – master's student of the Department of Automotive Transport, Service and Operation FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: car repair technology.

Shkilnyuk David – master's student of the Department of Automotive Transport, Service and Operation FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: car repair technology.