

Научная статья
УДК 629.1.013: 621.9.048
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-2-242-255>
EDN: INTOSP



МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОРАЗРЯДА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОРШНЕВЫХ ПАЛЬЦЕВ ДВС

Э.С. Савенко ✉, Н.В. Савенков, С.А. Матвиенко, А.Г. Каспарьянц
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Донецк, Россия
✉ ответственный автор
e.s.savenko@donnasa.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Актуальность темы представленной статьи определяется усовершенствованием технологии ремонта и восстановления деталей машин. В настоящее время широко используется технология восстановления поршневых пальцев двигателей внутреннего сгорания (ДВС) высокоэнергетическим способом пластического деформирования металла с использованием энергии высоковольтного импульсного разряда в жидкости – электрогидравлический эффект, а на его основе электрогидравлической обработки.

Цель статьи – повышение эффективности метода восстановления поршневых пальцев двигателей внутреннего сгорания за счет применения способа электрогидравлической раздачи.

Материалы и методы. Использовались следующие методы исследования: анализ степени влияния электрических параметров процесса электрогидравлической раздачи на величину деформации поршневых пальцев в зависимости от применяемого материала изделия. В статье рассматривается математическая модель процесса электроразряда при восстановлении поршневых пальцев. Расчетным методом определены режимы и параметры процесса электрогидравлической раздачи поршневых пальцев с сохранением их усталостной долговечности, статической прочности и износостойкости.

Результаты. В данной работе установлена степень влияния электрических параметров процесса электрогидравлической раздачи на величину деформации поршневых пальцев в зависимости от применяемого материала изделия. Разработана математическая модель процесса электроразряда при восстановлении поршневых пальцев, и на их основе определены режимы и параметры процесса электрогидравлической раздачи поршневых пальцев с сохранением их усталостной долговечности, статической прочности и износостойкости.

Обсуждение и заключение. Исследования показали, что взрывающиеся проволоки из железа, меди, вольфрама при восстановлении поршневых пальцев с внутренним радиусом до 10 мм не эффективны. Давление в случае их использования не превышает 100 МПа. Наибольший эффект дают взрывающиеся проволоки из Al диаметром менее одного миллиметра. При этом индуктивность цепи должна быть минимальной, т.к. это обеспечивает наибольшую долю энергии, выделяемую в канале разряда, от всей, запасенной в конденсаторе. Это обеспечивает и наибольшее давление в канале. Исходя из этих же соображений, емкость следует ограничить диапазоном 3–12 мкФ. Этот метод может быть применен при восстановлении других деталей автомобилей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: восстановление, поршневой палец, электрогидравлическая раздача, износ, ремонтный размер, электроразряд, пластическое деформирование металла, электромагнитная энергия, энергия взрывчатых веществ

БЛАГОДАРНОСТИ: благодарности рецензентам статьи.

Статья поступила в редакцию 15.10.2023; одобрена после рецензирования 12.01.2024; принята к публикации 22.04.2024.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

© Савенко Э.С., Савенков Н.В., Матвиенко С.А., Каспарьянц А.Г., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Савенко Э.С., Савенков Н.В., Матвиенко С.А., Каспарьянц А.Г. Моделирование процесса электроразряда при восстановлении поршневых пальцев ДВС // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 2. С. 242-255. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-21-2-242-255>

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-2-242-255>

EDN: IHTOCP

ELECTRIC DISCHARGE PROCESS MODELLING WHEN PISTON PINS RECOVERY IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Eduard S. Savenko ✉, Nikita V. Savenkov, Sergei A. Matvienko, Akop G. Kaspariyants

Donbass National Academy of Construction and Architecture,
Donetsk, Russia

✉ corresponding author
e.s.savenko@donnasa.ru

ABSTRACT

Introduction. The relevance of the topic of the presented article is determined by the improvement of the technology for repairing and restoring machine parts. Currently, the technology of restoring piston pins of internal combustion engines (ICE) by a high-energy method of plastic deformation of metal using the energy of a high-voltage pulse discharge in a liquid is widely used – the electrohydraulic effect, and on its basis electrohydraulic processing.

The purpose of the article is to increase the efficiency of the method of restoring piston pins of internal combustion engines due to the use of the electrohydraulic distribution method.

Materials and methods. The research methods such as the analysis of the degree of influence of the electrical parameters of the electrohydraulic distribution process on the amount of deformation of the piston fingers depending on the relevant material were used. The article discusses a mathematical model of the electric discharge process when restoring piston pins. The calculation method determines the modes and parameters of the process of electrohydraulic distribution of piston pins while maintaining their fatigue life, static strength and wear resistance.

Results. In this work, the degree of influence of the electrical parameters of the electrohydraulic distribution process on the amount of deformation of the piston pins, depending on the product material used, is established. A mathematical model of the electric discharge process during the restoration of piston pins has been developed, and based on them, the modes and parameters of the process of electrohydraulic distribution of piston pins have been determined while maintaining their fatigue life, static strength and wear resistance.

Discussion and conclusions. The studies have shown that exploding wires made of iron, copper, and tungsten are not effective in restoring piston pins with an internal radius of up to 10 mm. The pressure in the case of their use does not exceed 100 MPa. Exploding Al wires with a diameter of less than one millimeter have the greatest effect. In this case, the inductance of the circuit should be minimal, because this provides the largest share of the energy released in the discharge channel from all stored in the capacitor. This ensures the highest pressure in the channel. Based on the same considerations, the capacity should be limited to a range of 3-12 UF. This method can be applied to the restoration of other car parts.

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

ACKNOWLEDGEMENT: we are grateful to the reviewers of the article.

The article was submitted 15.10.2023; approved after reviewing 12.01.2024; accepted for publication 22.04.2024.

The author has read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the author has no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Savenko E.S., Savenkov N.V., Matvienko S.A., Kaspariyants A.G. Electric discharge process modeling when piston pins recovery in internal combustion engines. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (2): 242-255. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-2-242-255>

© Savenko E.S., Savenkov N.V., Matvienko S.A., Kaspariyants A.G., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Ремонт автомобилей связан со значительными затратами материальных, трудовых и денежных средств. Заводы машиностроения почти 40% металла расходуют на изготовление запасных частей, которые в основном определяют себестоимость ремонта машин. 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, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. В связи с этим большое значение имеет разработка прогрессивных технологических процессов, в особенности процессов восстановления деталей массового производства [12, 13, 14, 15, 16, 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 данные способы восстановления поршневых пальцев в ряде случаев отличаются сложностью процесса, низкой производительностью, значительными расходами тепловой и электрической энергии [1, 8, 12, 13, 17, 18, 19, 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.

Целью работы является повышение эффективности восстановления поршневых пальцев двигателей внутреннего сгорания за счет применения способа электрогидравлической раздачи.

Задачи работы:

– установить степень влияния электрических параметров процесса электрогидравлической раздачи на величину деформации поршневых пальцев в зависимости от применяемого материала изделия;

– разработать математическую модель процесса электроразряда при восстановлении поршневых пальцев, и на их основе опреде-

лить режимы и параметры процесса электрогидравлической раздачи поршневых пальцев с сохранением их усталостной долговечности, статической прочности и износостойкости.

Исследования проводились по поршневым пальцам к дизельным моторам ЯМЗ-236, 238, 240; А-01А, А-1; КамАЗ-740, ЗИЛ-645, ГАЗ-560, 562, СМД-14, 60, 62, 64; Д-21, 37, 40, 48, 50, 65М, 65Н и искровым моторам ЗИЛ-508, 509, ЗМЗ-406, 409, 512, УМЗ-421.

Электрогидравлическая раздача повышает производительность труда и экономическую эффективность при восстановлении поршневых пальцев по сравнению с существующими способами восстановления и не ухудшает их показателей прочности и износостойкости.

Поршневой палец двигателя внутреннего сгорания подвергается воздействию нагрузок, вызванных давлением газов и инерцией массы поршня и колец. Характер нагрузки переменный, ударный.

Ресурс, надежность и долговечность 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 рабочие поверхности пальцев работают в условиях граничного трения.

Изучение микрорельефа изнашиваемой поверхности поршневых пальцев показывает, что гладкая в целом поверхность покрыта отдельными рисками шириной менее 1 мкм, образовавшимися в результате попадания свободных абразивных частиц. Поверхность пальца в местах сопряжения с втулкой, как правило, блестящая; встречаются участки легкого цвета побегалости. Все это указывает на то, что рабочие поверхности поршневого пальца подвергаются нормальному износу, который по классификации Б.И. Костецкого может быть отнесен к окислительному. Сопутствующим видом износа поршневого пальца является абразивный, образуемый в результате попадания отдельных абразивных частиц между трущимися поверхностями.

Применение нового высокоэнергетического способа пластического деформирования металла с использованием энергии высоковольтного импульсного разряда в жидкости – электрогидравлического эффекта (ЭГЭ) и на его основе электрогидравлической обработки.

Сущность процесса состоит в том, что при создании в жидкости специально сформированного высоковольтного электрического разряда в зоне последнего развиваются высокие гидравлические давления.

Физика явления заключается в том, что практически несжимаемая жидкость с большой скоростью раздвигается во все стороны от линии разряда и создает ударную волну. При установке заготовки с матрицей перед ударной волной последняя передает свою энергию, в результате чего заготовка деформируется, принимая форму матрицы [18, 21].

При электрогидравлической обработке тепловое воздействие на объекты практически отсутствует, а воздействие на изделие передается через жидкую среду. Важным фактором электрогидравлической обработки является нагружение изделия по всей поверхности заготовки при деформировании, что дает возможность обеспечивать относительные скорости частиц заготовки ниже критических и исключить тем самым возможность разрушения металла.

Этот способ характеризуется не только количеством затрачиваемой энергии, но и высокой скоростью деформации, влияющей как на поведение металлов в процессе деформирования, так и на их физико-механические свойства. Отличительной особенностью этого способа является невысокая стоимость потребляемой энергии, простота оснастки, высокая эффективность воздействия на изделие.

Электрогидравлическая раздача осуществляется за счет ударной волны, созданной электрическим разрядом в определенных условиях на спецустановке, принципиальная схема которой представлена на рисунке 1. Батарея статических конденсаторов через зарядное устройство и выпрямитель-трансформатор накапливает электрическую энергию. В момент достижения требуемой величины энергии формирующее устройство замыкает разрядную цепь, и между рабочими электродами происходит высоковольтный пробой, создается плазменный шнур, расширение которого в объеме жидкости вызывает образование ударной волны [22, 23].

Электрогидравлическая обработка металлов характеризуется скоростями, в десятки и сотни раз превышающими скорости при обычных способах обжатия, вытяжки, раздачи и т.д. Например, скорость ползуна механического пресса находится в пределах 2-3 м/с.

Скорость деформирования значительно влияет на прочностные и пластические свой-

ства деформируемого металла, и этому фактору придается большое значение. Установлено, что при увеличении скорости деформации, как правило, повышаются пределы текучести и прочности. Объясняется это явление изменением механизма деформации, уменьшением влияния тепловых флуктуаций и снижением роли разупрочнения [22, 23]. Увеличение скорости деформации только до 4 м/с увеличивает предел текучести железа при комнатной температуре на 30%, а также повышает предел прочности, пластичность металла и сопротивление удару.

Некоторые стали размягчаются после ударной обработки по сравнению с исходным состоянием, а другие, наоборот, повышают свою твердость. Все это указывает на сложность процессов, происходящих при прохождении ударных волн сквозь закаленную сталь. Действует, по-видимому, не менее двух и притом противоположных по характеру процессов, независимых друг от друга. Одни из них упрочняют сталь, а другие – разупрочняют ее. Например, после ударной обработки закаленных образцов из сталей марки 30ХСА и 40Х твердость их снижалась на 22 и 14%, сталей марки У7, Р18, 65Г – повышается на 16, 19, 43% соответственно. Изменение в структуре сжимаемого металла зависит не только от конечного давления, развиваемого в ударной волне, но и от формы импульса и его изменения во времени.

Особенности технологии восстановления поршневых пальцев (использование иницирующей проволоки весом $\geq 0,1-0,3$ г) позволяют предположить, что плазма полностью образуется из металлической проволоки. В используемой электрогидравлической установке (ЭГУ) генерируется плотная низкотемпературная плазма, для которой число частиц $n \approx 10^{25}-10^{28} \text{ м}^{-3}$, температура $T = 5000-50000 \text{ К}$, причем энергия притяжения между электроном и ионами $e^2 n_e^{-1/3}$ сравнима с кинетической $kT = 1/\beta$, $e^2 n_e^{-1/3} \beta \leq 0,5$.

Это обстоятельство не позволяет рассматривать плазму как идеальный газ, существенно усложняет проведение расчетов и требует создания специальной модели плазмы, характерной для рассматриваемого примера.

При этом уравнение состояния, связывающее давление p , объем V и температуру T , и калорическое уравнение, определяющее внутреннюю энергию W как функцию двух из трех указанных параметров P , V , T , мы получаем, разлагая термодинамические функции в ряд по степеням активности.

Принципиальная схема электрогидравлической установки

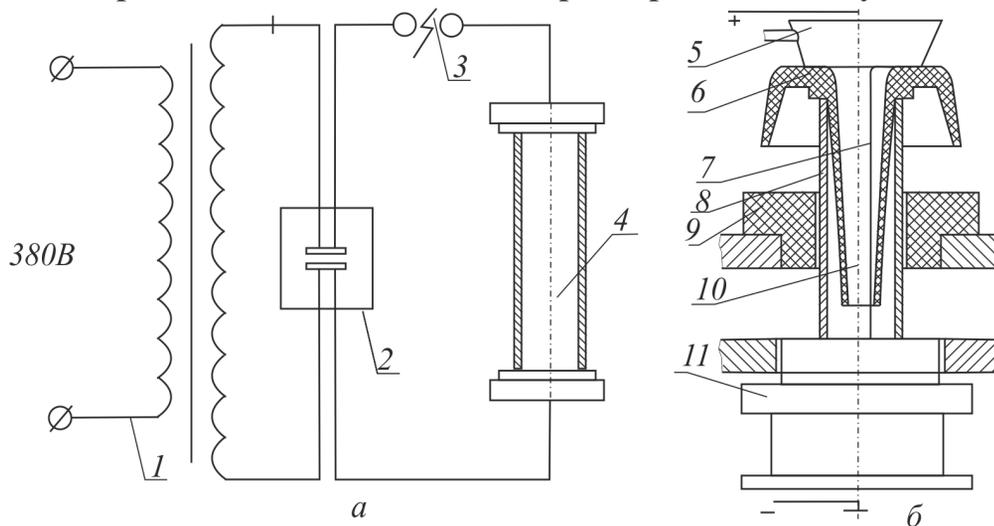


Рисунок 1 – Принципиальная схема электрогидравлической установки:
 а – принципиальная схема электрогидравлической установки:
 1 – выпрямительное устройство; 2 – блок накопления энергии;
 3 – формирующий промежуток; 4 – технологический узел;
 б – схема технологического узла при восстановлении поршневого пальца:
 5 – подвижный положительный электрод; 6 – патрон; 7 – взрывающаяся проволока;
 8 – палец поршневой; 9 – гнезда; 10 – техническая вода; 11 – отрицательный электрод
 Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Schematic diagram of electrohydraulic installation
 а) Circuit diagram of electrohydraulic installation
 1 – rectifier; 2 is a power storage unit;
 3 is a forming gap; 4 – process unit.
 б) Diagram of the process unit when restoring the piston pin
 5 – movable positive electrode; 6 – cartridge; 7 – exploding wire;
 8 – piston pin; 9 – sockets; 10 – service water; 11 – negative electrode
 Source: compiled by the authors.

Уравнения, удобные для расчетов, имеют следующий вид:

$$p = kTz_e \left(2 + \frac{\alpha}{3} + \frac{\alpha^2}{4} + z_i \Lambda^3 \frac{\sum n}{2g_i} \right), \quad (1)$$

$$n = z_e \left(1 + \frac{\alpha}{2} + \frac{\alpha^2}{4} + z_i \Lambda^3 \frac{\sum n}{2g_i} \right), \quad (2)$$

где $Z_e = Z_i$ – активность электронов и ионов;
 $\sum n$ – статистическая сумма Планка;
 g_i – статистическая сумма иона;
 α – параметр неидеальности;

n – число ядер металла;
 Λ – длина тепловой волны де-Бройля.
 Значения $\sum n$, g_i и методы их расчета приведены в [21].

$$\alpha^2 = 4\pi \left(\frac{e^2}{kT} \right)^3 \cdot (z_e + z_i),$$

где e , m – заряд и масса электрона;
 h – постоянная Планка;
 K – коэффициент, постоянная Больцмана.
 Таким образом, задаваясь значениями p , T и используя справочные данные для $\sum n$, g_i , можно определить число частиц в единице объема.

Калорическое уравнение определяется в зависимости от n и $Z_e = Z_i$:

$$W = Em + I \cdot z_e + (z_i + n) \cdot \frac{3}{2} \cdot k(T_2 - T), \quad (3)$$

где E – теплота испарения металла;

m – масса испаряемого металла;

I – потенциал ионизации;

T – температура нагрева плазмы;

T_2 – температура испарения металла.

Последний член уравнения характеризует энергию нагрева плазмы от температуры испарения металла до температуры T . В связи с тем, что величина теплоты плавления металла и теплота испарения на порядок меньше всех остальных членов, этими величинами пренебрегаем.

Поскольку потенциальная энергия взаимодействия ионов и электронов велика, то в результате их взаимодействия образуются пары, которые должны быть выделены в отдельную группу, отличную от обычного принятого деления на атомы и свободные электроны. Такие пары представляют собой промежуточные соединения между свободными электронами, ионами и атомами. Концентрация всех составляющих определяется соотношениями:

– для слабосвязанных электрон-ионных пар

$$n^x = z_e \left(0.47 \cdot \alpha^{2/3} + 0.33 \cdot \alpha^{5/3} \right), \quad (4)$$

– для атомов

$$n_a = z_e \cdot z_i \cdot \Lambda^3 \cdot e^{\beta I} \cdot g_a / 2g_i, \quad (5)$$

$$p = 1.6 \cdot 10^{-18} T z_e \left(2 + \frac{4\sqrt{2}A}{3T^{3/2}} + z_i \frac{A^3}{T^3} + z_i \frac{Be^{I/T} g_a}{2g_i T^{3/2}} \right),$$

$$n = z_e \left(1 + \frac{A}{\sqrt{2}T^{3/2}} + z_i \frac{A^3}{T^3} + z_i \frac{Be^{I/T} g_a}{2g_i T^{3/2}} \right),$$

$$A = 1.37 \cdot 10^{-10}; B = 3.31 \cdot 10^{-22}; I \approx 5.98.$$

– для свободных электронов

$$n_e = z_e \left(1 + \frac{\alpha}{2} + \frac{\alpha^2}{4} + 0.47 \cdot \alpha^{2/3} - 0.33 \cdot \alpha^{4/3} \right). \quad (6)$$

В электрическом поле на электропроводность влияют как свободные электроны n_e , так и слабо связанные пары, n^x . Влияние свободных электронов определяется по формуле Фроста

$$\sigma_e = \frac{4e^2 \beta^{3/2} n_e}{3(2\pi m)^{1/2}} \int_0^\infty \frac{\varepsilon e^{-\beta\varepsilon} d\varepsilon}{n_a Q_a + (n_e + n^x) 1.72 Q_e}, \quad (7)$$

где Q_e – сечение рассеяния слабо связанных электронов на ионах и парах;

$$Q_e = \frac{650}{\varepsilon \ln \Lambda}, \Lambda = \frac{3\sqrt{2}}{\alpha},$$

Q_a – сечение рассеяния электронов на нейтральных атомах металла и принимается равным геометрическому радиусу атома;

ε – переменная энергия электрона.

Влияние слабо связанных электронов рассчитывалось по формуле

$$\sigma^x = 21 \cdot T^{3/2} \left(\alpha^{5/3} + 0.73 \cdot \alpha^{7/3} \right), \quad (8)$$

При расчете все вычисления удобно проводить в следующих единицах: $\beta = (\text{кТ})^{-1}$ в электронвольтах, ρ – см⁻³, p – атм., σ – Ом⁻¹см⁻¹.

В этих единицах (кроме температуры) представлены все табличные величины. Формулы (1) – (2) для этого случая примут вид:

Полная электропроводность составляет

$$\sigma = \sigma_e + \sigma^x. \quad (9)$$

Таким образом, используя представленную методику, можно из уравнения состояния рассчитать состав и электропроводность металлической плотной неидеальной плазмы, генерируемой ЭГУ.

Приведенные исследования уравнения состояния и электропроводности, плазмы (1)–(9) совместно с уравнениями гидродинамики позволяют перейти к математическому моделированию электроразряда [24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32].

Для этого введем следующие уравнения:

Уравнение колебательного контура (высоковольтного трансформатора, статических конденсаторов, формирующего и разрядного промежутка).

$$\frac{d^2u}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{du}{dt} + \frac{u}{LC} = 0, \quad (10)$$

где C – емкость;

u – напряжение на конденсаторе;

L – индуктивность цепи;

t – время;

R – активное сопротивление.

Уравнение для активного сопротивления и удельной проводимости плазмы

$$R = \frac{l}{\pi a^2 \sigma}, \quad (11)$$

где a – радиус канала;

l – длина канала;

σ – удельная проводимость плазмы, поскольку сопротивлением подводящих проводов пренебрегаем.

Уравнение баланса энергии

$$I^2 R = W + P_k \frac{dV_k}{dt} - E, \quad (12)$$

где W – энергия плазмы канала (2.3);

p_k – давление в канале (2.1);

V_k – объем канала;

E – энергия сублимации проволоки.

Уравнение числа частиц в канале разряда или концентрации ядер:

$$n_{\text{я}} = \frac{m}{M} 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{V_k}, \quad (13)$$

где $n_{\text{я}}$ – число ядер (атомов) в одном грамм-моле;

m – масса проволоки;

M – молекулярный вес металла.

Система уравнений (1) – (13) является замкнутой и позволяет по параметрам электрического контура u , C , L и параметрам взрывающейся проволоки описать по времени параметры электрогидравлического процесса, подобрав наиболее эффективные режимы и материалы.

В расчетах свойств плазмы и электрических характеристик разряда для восстановления поршневых пальцев за основу принимался межразрядный промежуток l постоянной длины – 80 мм. Толщина проволоки варьировалась в пределах 0,5–4,0 мм. Нижний предел выбирался, исходя из удобства технологии изготовления взрывного патрона, верхний был практически не ограничен. Однако толщина, большая, чем 4 мм, оказалась нерациональной из-за большой затраты энергии на предразрядные потери, связанные с нагревом и испарением материала проволоки.

На рисунках 2, 3, 4 представлены результаты одного из оптимальных расчетов гидродинамических характеристик разряда $u = 40$ кВ, $C = 5$ мкФ, $L = 5,6$ мкГц, взрывающаяся проволока из Al , диаметром 0,7 мм, длиной 80 мм.

Из приведенных графиков следует:

1. Изменения радиуса канала разряда прямо пропорциональны времени. Увеличение радиуса канала до 15–20 мм осуществляется за 25–30 мкс.

2. Достигаемые за это время давления и гидродинамические скорости вполне достаточны для раздачи и восстановления пальцев автотракторных двигателей.

Проведенные исследования относятся к процессу электроразряда и не затрагивают вопросов взаимодействия ударных волн и гидротоков с обрабатываемой деталью.

Начальный момент взаимодействия давления на внутренней поверхности детали при действии ударной волны удваивается. В последующие моменты времени вследствие многократного наложения отраженных волн, а также развитого течения среды наблюдается скачкообразное изменение давления (рисунок 5).

Нестационарное радиальное перемещение стенки детали является интегральной характеристикой давления, поэтому его нарастание во времени происходит плавно (рисунок 6).

На рисунок 7 приведен результат численного интегрирования в виде зависимости радиального перемещения стенки детали от давления в полости детали. Зависимость носит почти прямолинейный характер с большими градиентами перемещений.

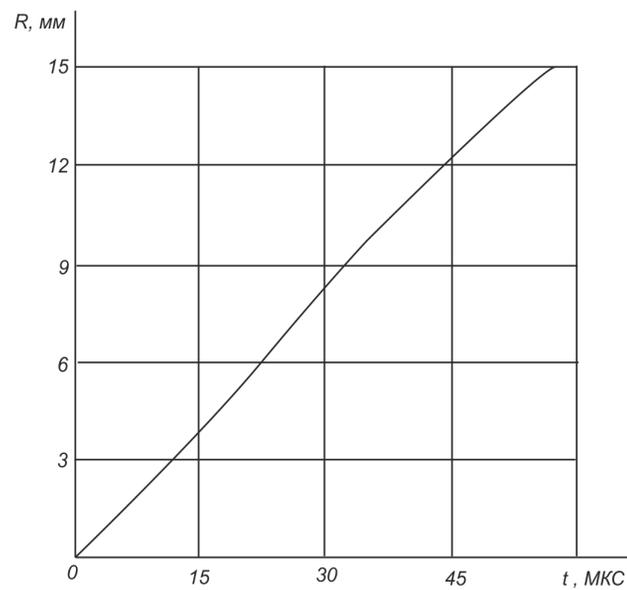


Рисунок 2 – Изменение радиуса канала разряда по времени
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Change of radius of discharge channel by time
Source: compiled by the authors.

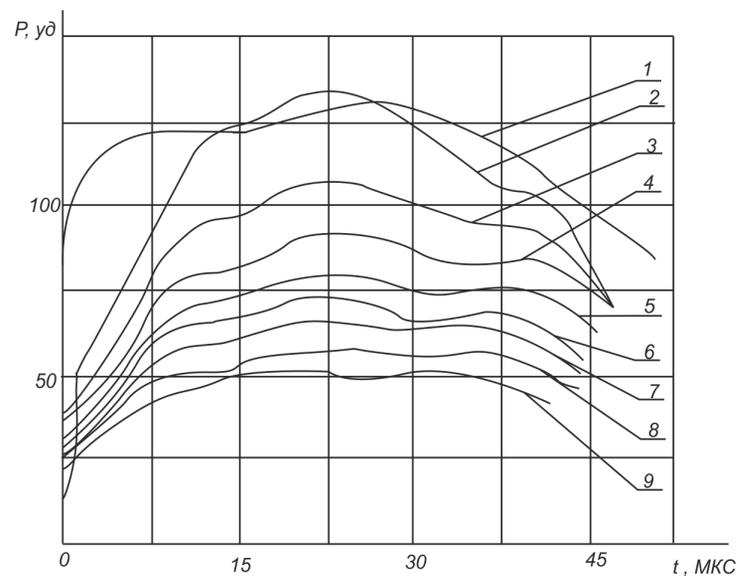


Рисунок 3 – Изменение давления по времени:
1 – в канале разряда; 2–9 – на расстоянии 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 мм от оси канала разряда
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Pressure variation over time
1 – in the discharge channel; 2-9 – at a distance of 5; 10; 15; 20; 25; 30;
40; 50 mm from discharge channel axis
Source: compiled by the authors.

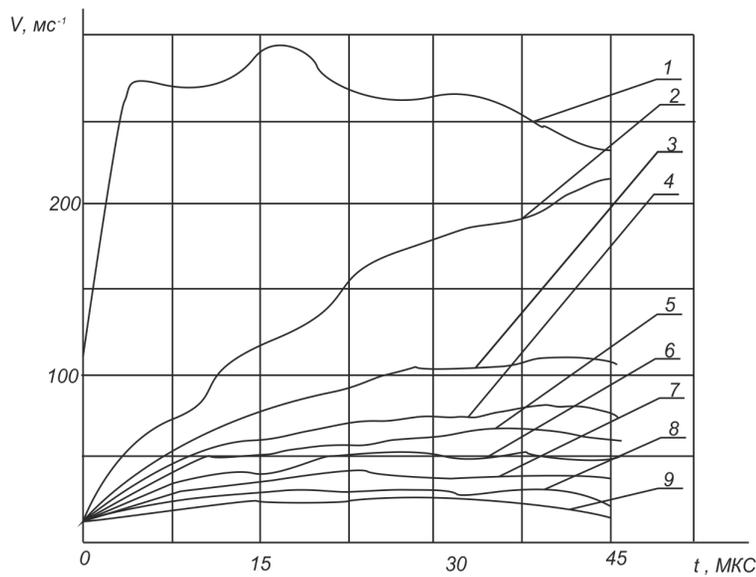


Рисунок 4 – Изменение скорости расширения разряда: 1 – в канале разряда; 2–9 – на расстоянии 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 мм от оси канала разряда
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Change of bit expansion rate 1 – in discharge channel; 2–9 – at a distance of 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50 mm from discharge channel axis
Source: compiled by the authors.

Для удобства практического пользования результатом решения эта зависимость интерполировалась параболой. Для интерполяции применен многочлен Лагранжа

$$I_{(n)}(x) = L_0(x)f_0 + L_1(x)f_1 + \dots + L_n(x)f_n,$$

где

$$L_n(x) = \frac{(x-x_0)\dots(x-x_{i-1})(x-x_{i+1})\dots(x-x_n)}{(x_i-x_0)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x_i-x_n)}, \quad (14)$$

и

$$f_i = f(x_i).$$

В результате интерполирования получены следующие функциональные зависимости между давлением в полости и радиальным перемещением стенки детали:

$$p(u) = a_0 + a_1u + a_2u^2 + a_3u^3, \quad (15)$$

где P – максимальное давление в полости детали, МПа;

u – радиальное перемещение стенки детали, мм;

a_i – коэффициенты, имеющие следующие значения:

$$a_0 = -138,03; a_1 = 546,44; a_2 = -397,1; a_3 = 107,07.$$

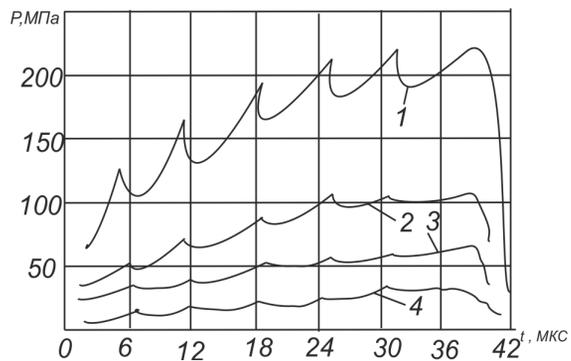


Рисунок 5 – Графики изменения давления во внутренней полости детали по времени при ЭГР
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Graphs of pressure change in the internal cavity of the part by time at EGR
Source: compiled by the authors.

1. Иницирующая проволока из Al.
2. Иницирующая проволока из Fe.
3. Иницирующая проволока из Cu.
4. Иницирующая проволока из W.

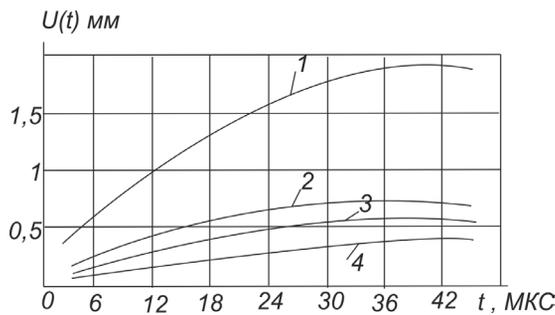


Рисунок 6 – График изменения радиального перемещения стенки детали при ЭГР
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Diagram of the change in the radial movement of the part wall during EGR
Source: compiled by the authors.

1. Иницирующая проволока из Al.
2. Иницирующая проволока из Fe.
3. Иницирующая проволока из Cu.
4. Иницирующая проволока из W.

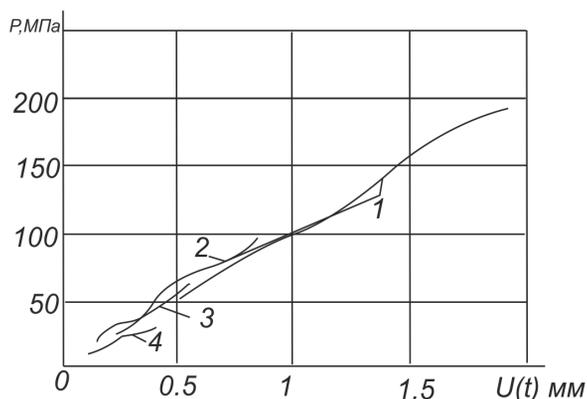


Рисунок 7 – Графики зависимости радиального перемещения стенки детали от давления во внутренней полости при ЭГР
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Curves of the radial movement of the part wall from pressure in internal cavity at EGR
Source: compiled by the authors.

1. Иницирующая проволока из Al.
2. Иницирующая проволока из Fe.
3. Иницирующая проволока из Cu.
4. Иницирующая проволока из W.

Расчеты показали:

1. Взрывающиеся проволоки из железа, меди, вольфрама при восстановлении поршневых пальцев с внутренним радиусом до 10 мм не эффективны. Давление в случае их использования не превышает 100 МПа. Наибольший эффект дают взрывающиеся проволоки из Al диаметром менее одного миллиметра.

2. Индуктивность цепи должна быть минимальной, т.к. это обеспечивает наибольшую долю энергии, выделяемую в канале разряда, от всей, запасенной в конденсаторе. Это обеспечивает и наибольшее давление в канале. Исходя из этих же соображений, емкость следует ограничить диапазоном 3–12 мкФ.

Этот метод может быть применен при восстановлении других деталей автомобилей.

Так, этот метод был рекомендован при восстановлении посадочных мест под подшипники трубы полуоси автомобиля ЗИЛ-433110.

Способом электрогидравлической раздачи можно восстанавливать не только стальные, но и чугунные детали крышки подшипников ведущего вала коробки передач автомобиля ЗИЛ-5301, изготовленной из ковкого чугуна КЧ-35-10. Крышка имеет износ по наружной поверхности в месте установки выжимного подшипника. Приведенные примеры подтверждают большие технологические возможности восстановления деталей способом электрогидравлической раздачи.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Saraiev O., Saraieval., Gritsukl., Vrublevskiy R., KurnosenkoD., Ahieiev AM. utomated Diagnostic System for Engine Cylinder – Piston Group. SAE Technical Paper 2020-01-2022. 2020. doi: <https://doi.org/10.4271/2020-01-2022>. Mode of access: SAE International (Scopus). Title from the screen.
2. Агеев М.С., Грицук I.В., Солових Е.К. Застосування комбінованих технологій відновлення для підвищення ресурсу деталей засобів транспорту // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ). 2020. Вип. 194. С. 81 – 92.
3. Allmaier H., Sander D.E., Reich F.M. Measuring friction in automotive engines & determining the contributions of the individual subsystems. World Tribology Congress. Torino. 2013. P. 117.
4. Vorlaufer G., Ilincic S., Franek F. and Pauschitz A. Quantification of wear by comparison of surface topography data. Encyclopedia of tribology. New York: Springer Verlag, 2012. Ch. № 967.
5. Goenka P.K., Paranjpe R.S. A Rewiew of Engine Bearing Analysys Methods at General Motors. SAE Technical paper series 920489. P. 67–75.
6. Wheat H., Liu G., Alonzo A., Johnson K. Corrosion sensing coatings for steel and aluminum alloys. The Proceedings of the 21 International Offshore and Polar Engineering Vol.4. Cupertino. 2011. P. 362–368.
7. Gierl C., Harrer B., Danninger H., Kastner J., Schneider R. X-ray computed tomography for quantification of secondary pore structures in PM steels. Powder Met. Progr. 2011. 11, № 1–2. Pp. 85–89.
8. Dey A., Koria S., Dube R. Model prediction and experimental validation of porosity in metal spray deposit. Powder Met. 2007. 50, № 4. P. 359–366.

9. Tomie Michio, Abf Nobuyuki, Improvement of sprayed coatings with ultra high voltage EB melting. *Trans. JWRI*. 1992. 21, №2. С. 229–300.
10. Gu Jianfeng Jinshu rechuli-Heat Treat. *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. *Tribology Transactions*. 1990. Vol. 112. 52–59 pp.
12. Vincent B., Maspeyrot P., Frene J. Cavitation in dynamically loaded journal bearings using mobility method. *Wear*. 1996. Vol.193. 155–162 pp.
13. Ageev M., Lyashenko B., Zheng-xian Li Performance of Protective Compound Coating for HfY Niobium Alloy. Evaluated by Thermo – Cyclic Creep Test Method. *Science Magazine Materials Protection, Periodical, Chinese (材料保护)* 2017. №50(2). pp. 15–19.
14. Агеев М.С., Грицук І.В., Рутковский А.В., Солових А.Є., Катеринич Є.К. Дослідження процесу імпульсного іонного вакуумного термоциклічного азотування у плазмі пульсуючого тліючого розряду. // Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету». Технічні науки. 2020. № 6 (291). С. 107 – 116 DOI 10.31891/2307 – 5732.
15. Дудан А.В., Агеев М.С., Рутковский А.В., Мирненко В.И., Радько О.В. Исследование процесса вакуумного термоциклического азотирования в плазме пульсирующего тлеющего разряда. Построение математической модели процесса // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. Машиностроение и машиностроение. г. Новополоцк: ПГУ, 2020. № 4. С. 40–48.
16. Method For Determination Of Liquefied Gas Fuel Consumption And Harmful Emissions Of Vehicles / Igor Gritsuk, Vasyl Mateichyk, Volodymyr Volkov, Dmytro Pohorletskyi, Mykola Bulgakov – *Seria: Mechanical Engineering (Inżynieria Mechaniczna) Transport Means Engineering – Operation, Fuels And Safety – Selected Issues*, Rzeszow University of Technology, 2022. P. 37 – 44. ISBN 978-83-7934-606-6
17. Golovan A., Gritsuk I., Popeliuk V., Pohorletskyi D., Khudiakov I., Ahieiev M. Features of mathematical modeling in the problems of determining the power of a turbocharged engine according to the characteristics of the turbocharger. *SAE International Journal of Engines*, 2020, 13(1), 03 – 13 – 01 – 0001. doi: <https://doi.org/10.4271/03 – 13 – 01 – 0001>. Mode of access: SAE International Journal of Engines. (Scopus). Order URL: <https://worldcat.org/issn/19463936/>. Title from the screen.
18. Быков И.А., Кузнецов Т.А. Изготовление заготовок поршневых пальцев в автомобильной промышленности // *Автомобильное производство*. 1984. № 1. С. 4–7.
19. Maksim Ahieiev, Igor Gritsuk, Aleksandra Litikova, Ievhen Bilousov, Roman Vrublevskiy, Oleksandr Boboshko, Oleg Smyrnov, Iryna Saraieva, Igor Khudiakov, “Application of Combined Electric Arc Coatings for Parts and Units of Vehicles Recovery in Repair Technologies,” *SAE Technical Paper 2021-01-5100*, 2021, doi:10.4271/2021-01-5100, p. 17,
20. Belousov E., Marchenko A., Gritsuk I., Kalashnikov Y., Ahieiev M., Pronin S. Research of the Gas Fuel Supply Process on the Compression Stroke in Ship’s Low – Speed Gas – Diesel Engines. *SAE Technical Paper 2020-01-2107*. 2020. doi: <https://doi.org/10.4271/2020-01-2107>. Mode of access: SAE International (Scopus). <https://papers.sae.org/10.4271/2020 – 01 – 2107>. Title from the screen.
21. Полупанов Ф.П., Балан К.Г., Пономаренко В.Н. Электрогидравлический эффект в ремонтном деле // *Техника в сельском хозяйстве*. 1972. № 12. С. 72–74.
22. Каспарьянц А.Г., Какуевичкий В.А. Использование электрогидравлического эффекта для восстановления поршневых пальцев // *Автомобильный транспорт*. 1982. № 8. С. 103–106.
23. Pegel H. Electrohydraulic sheet metal forming with flexible tools. / H. Pegel, L. Langstadtler, M. Herrmann, C. Schenck, B. Kuhfuss // *MATEC Web of Conferences*. 2018. № 190. URL: https://www.matecconferences.org/articles/matecconf/pdf/2018/49/matecconf_icnft2018_12001.pdf.
24. Zhutchkov, A.I. Zinoviev N.T., Filatov G.P. Pressing of tubes in tube slabs using multiple electrical discharge in liquid // *PLASMA PHYSICS AND PLASMA TECHNOLOGY: III International Conference, Minsk, 18–22 September*. 2000. P.558–561.
25. Chace W.G., Levine M.A. Classification of Wire Explosions // *J. Appl. Phys.* 1960. № 31. P. 1298.
26. Gritsuk D. Pohorletskyi, V. Mateichyk, M. Ahieiev, I. Sadovnyk Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems). *SAE Technical Papers*, 2020-01-2031. 2020. doi: <https://doi.org/10.4271/2020-01-2031>. Mode of access: SAE International. (Scopus). <https://papers.sae.org/10.4271/2020–01–2031>. Title from the screen.
27. Gutarevych Yurii, Mateichyk Vasyl, Matijošius Jonas, Rimkus Alfredas, Gritsuk Igor, Syrota Oleksander and Shuba Yevheniy «Improving Fuel Economy of Spark Ignition Engines Applying the Combined Method of Power Regulation,» *Energies* 2020, 13(5), 1076; <https://doi.org/10.3390/en13051076> (registering DOI). Received: 7 January 2020 / Revised: 19 February 2020 / Accepted: 23 February 2020 / Published: 1 March 2020. (This article belongs to the Special Issue *Advances in Spark-Ignition Engines*)
28. Kuric I., Gorobchenko O., Litikova O., Gritsuk I., Mateichyk V., Bulgakov M., Klackova I., Research of vehicle control informative functioning capacity – *MMS2019, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 776 (2020) 012036, 11 P., IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/776/1/012036 – This content was downloaded from IP address 188.163.65.230 on 06/04/2020 at 11:17
29. Tsiuman M.P., Mateichyk V., Smieszek M., Sadovnyk I. et al., “The System for Adding Hydrogen-containing Gas to the Air Charge of the Spark Ignition Engine Using a Thermoelectric Generator,” *SAE Technical Paper 2020-01-2142*, 2020, doi:10.4271/2020-01-2142.

30. Mykola Tkachuk, Olexandr Shut, Andrii Marchenko, Andriy Grabovskiy, Angrii Lipeiko, Andrii Polyvianchuk, Gritsuk Igor, Mykola Tkachuk, "Strength and Stability Criteria Limiting Geometrical Dimensions of a Cantilever Impeller," SAE Technical Paper 2021-01-5056, 2021, <https://doi.org/10.4271/2021-01-5056>. p. 11.

31. Mirosław Smieszek, Vasyl Mateichyk, Roman Symonenko, Igor Gritsuk, Mykola Bulgakov, Information system for remote monitoring of vehicle operational efficiency / Machine Modeling and Simulations 2021, 2021 / <https://www.mmsconf.eu/index.php/mms/mms2021/paper/view/668> MMS 2021, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1199 (2021) 012081, IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/1199/1/012081

32. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure / ISSN 2523-3440, ISSN 2523-3459 (electronic), ISBN 978-3-031-25862-6, ISBN 978-3-031-25863-3 (eBook), <https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3>, p.23–32

REFERENCES

1. Saraiev O., Saraieva I., Gritsuk I., Vrublevskiy R., Kurnosenko D., Ahieiev AM. Automated Diagnostic System for Engine Cylinder – Piston Group. SAE Technical Paper 2020-01-2022. 2020. doi: <https://doi.org/10.4271/2020-01-2022>. Mode of access: SAE International (Scopus). Title from the screen.
2. Ageev M.S., Gricuk I.V., Solovih E.K. Application of combined recovery technologies to increase the service life of vehicle parts. *Zbirnik naukovih prac' Ukrain's'kogo derzhavnogo universitetu zaliznizhnogo transportu (UkrDUZT)*. 2020; Vip. 194: 81–92.
3. Allmaier H., Sander D.E., Reich F.M. Measuring friction in automotive engines & determining the contributions of the individual subsystems. *World Tribology Congress*. Torino. 2013: 117.
4. Vorlaufer G., Ilincic S., Franek F. and Pauschitz A. Quantification of wear by comparison of surface topography data. *Encyclopedia of tribology*. New York: Springer Verlag, 2012. Ch. № 967.
5. Goenka P.K., Paranjpe R.S. A Review of Engine Bearing Analysis Methods at General Motors. SAE Technical paper series 920489. P. 67–75.
6. Wheat H., Liu G., Alonzo A., Johnson K. Corrosion sensing coatings for steel and aluminum alloys. The Proceedings of the 21 International Offshore and Polar Engineering Vol.4. Cupertino. 2011: 362–368.
7. Gierl C., Harrer B., Danninger H., Kastner J., Schneider R. X-ray computed tomography for quantification of secondary pore structures in PM steels. *Powder Met. Progr.* 2011; 11, № 1-2: 85–89.
8. Dey A., Korja S., Dube R. Model prediction and experimental validation of porosity in metal spray deposit. *Powder Met.* 2007; 50, № 4: 359–366.
9. Tomie Michio, Abf Nobuyuki, Improvement of sprayed coatings with ultra high voltage EB melting. *Trans. JWRI*. 1992; 21, no 2: 229–300.
10. Gu Jianfeng Jinshu rechuli-Heat Treat. *Metals*. 2013; 2: 1–9.
11. Woods M., Brewster D.E. The Solution of the Elrod Algorithm for a Dynamically Loaded Journal Bearings Using Multigrid Techniques. *Tribology Transactions*. 1990; 112: 52–59 pp.
12. Vincent B., Maspeyrot P., Frene J. Cavitation in dynamically loaded journal bearings using mobility method. *Wear*. 1996; Vol.193: 155–162.
13. Ageev M., Lyashenko B., Zheng-xian Li Performance of Protective Compound Coating for HfY Niobium Alloy. Evaluated by Thermo – Cyclic Creep Test Method. Science Magazine Materials Protection, Periodical, Chinese (材料保护) 2017; 50(2): 15–19.
14. Ageev M.S., Gricuk I.V., Rutkovskij A.V., Solovih A.E., Katerinich E.K. Investigation of the process of pulsed ion vacuum thermocyclic nitriding in a pulsating glow discharge plasma. *Naukovij zhurnal «Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu»*. *Tekhnichni nauki*. 2020; 6 (291): 107–116. DOI 10.31891/2307 – 5732.
15. Dudan A.V., Ageev M.S., Rutkovskij A.V., Mirnenko V.I., Rad'ko O.V. Investigation of the process of vacuum thermocyclic nitriding in plasma of a pulsating glow discharge. Building a mathematical model of the process. *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Serija V. Promyshlennost'. Prikladnye nauki. Mashinovedenie i mashinostroenie*. g. Novopolock: PGU, 2020; 4: 40–48. (In Russ.)
16. Method For Determination Of Liquefied Gas Fuel Consumption And Harmful Emissions Of Vehicles / Igor Gritsuk, Vasyl Mateichyk, Volodymyr Volkov, Dmytro Pohorletskiy, Mykola Bulgakov – Seria: Mechanical Engineering (Inzhynieria Mechaniczna) Transport Means Engineering – Operation, Fuels And Safety – Selected Issues, Rzeszow University of Technology, 2022. P. 37–44. ISBN 978-83-7934-606-6
17. Golovan A., Gritsuk I., Popeliuk V., Pohorletskiy D., Khudiakov I., Ahieiev M. Features of mathematical modeling in the problems of determining the power of a turbocharged engine according to the characteristics of the turbocharger. *SAE International Journal of Engines*, 2020, 13(1), 03-13-01-0001. doi: <https://doi.org/10.4271/03-13-01-0001>. Mode of access: SAE International Journal of Engines. (Scopus). Order URL: <https://worldcat.org/issn/19463936/>. Title from the screen.
18. Bykov I.A., Kuznecov T.A. Manufacture of piston pin blanks in the automotive industry. *Avtomobil'noe proizvodstvo*. 1984; 1: 4–7. (in Russ.)
19. Maksim Ahieiev, Igor Gritsuk, Aleksandra Litikova, Ievhen Bilousov, Roman Vrublevskiy, Oleksandr Boboshko, Oleg Smyrnov, Iryna Saraieva, Igor Khudiakov, "Application of Combined Electric Arc Coatings for Parts and Units of Vehicles Recovery in Repair Technologies," SAE Technical Paper 2021-01-5100, 2021, doi:10.4271/2021-01-5100, p. 17,
20. Belousov E., Marchenko A., Gritsuk I., Kalashnikov Y., Ahieiev M., Pronin S. Research of the Gas Fuel Supply Process on the Compression Stroke in Ship's Low – Speed Gas – Diesel Engines. SAE Technical Paper 2020-01-2107. 2020. doi: <https://doi.org/10.4271/2020-01-2107>. Mode of access: SAE International (Scopus). <https://papers.sae.org/10.4271/2020-01-2107>. Title from the screen.

21. Polupanov F.P., Balan K.G., Ponomarenko V.N. Electrohydraulic effect in repair business. *Tehnika v sel'skom hozjajstve*. 1972;12: 72–74. (in Russ.)

22. Kaspar'janc A.G., Kakuevickij V.A. The use of the electrohydraulic effect for the restoration of piston fingers. *Avtomobil'nyj transport*. 1982; 8:103–106. (in Russ)

23. Pegel H. Electrohydraulic sheet metal forming with flexible tools. / H. Pegel, L. Langstadtler, M. Herrmann, C. Schenck, B. Kuhfuss. MATEC Web of Conferences. 2018. № 190. URL: https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/49/mateconf_icnft2018_12001.pdf.

24. Zhutchkov, A.I. Zinoviev N.T., Filatov G.P. Pressing of tubes in tube slabs using multiple electrical discharge in liquid. Plasma physics and plasma technology: III International Conference, Minsk, 18–22 September. 2000. P. 558–561.

25. Chace W.G., Levine M.A. Classification of Wire Explosions. *J. Appl. Phys.* 1960. № 31. P. 1298.

26. Gritsuk D. Pohorletskiy, V. Mateichyk, M. Ahiev, I. Sadovnyk Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems). *SAE Technical Papers*, 2020-01-2031. 2020. doi: <https://doi.org/10.4271/2020-01-2031>. Mode of access: SAE International. (Scopus). <https://papers.sae.org/10.4271/2020-01-2031>. Title from the screen.

27. Gutarevych Yurii, Mateichyk Vasyl, Matijošius Jonas, Rimkus Alfredas, Gritsuk Igor, Syrota Oleksander and Shuba Yevheniy «Improving Fuel Economy of Spark Ignition Engines Applying the Combined Method of Power Regulation,» *Energies* 2020, 13(5), 1076; <https://doi.org/10.3390/en13051076> (registering DOI). Received: 7 January 2020 / Revised: 19 February 2020 / Accepted: 23 February 2020 / Published: 1 March 2020. (This article belongs to the Special Issue Advances in Spark-Ignition Engines)

28. Kuric I., Gorobchenko O., Litikova O., Gritsuk I., Mateichyk V., Bulgakov M., Klackova I., Research of vehicle control informative functioning capacity – MMS2019, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 776 (2020) 012036, 11 P., IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/776/1/012036 – This content was downloaded from IP address 188.163.65.230 on 06/04/2020 at 11:17

29. Tsiunan M.P., Mateichyk V., Smieszek M., Sadovnyk I. et al., “The System for Adding Hydrogen-containing Gas to the Air Charge of the Spark Ignition Engine Using a Thermoelectric Generator,” *SAE Technical Paper* 2020-01-2142, 2020, doi:10.4271/2020-01-2142.

30. Mykola Tkachuk, Olexandr Shut, Andrii Marchenko, Andriy Grabovskiy, Angrii Lipeiko, Andrii Polyvianchuk, Gritsuk Igor, Mykola Tkachuk, “Strength and Stability Criteria Limiting Geometrical Dimensions of a Cantilever Impeller,” *SAE Technical Paper* 2021-01-5056, 2021, <https://doi.org/10.4271/2021-01-5056>. p. 11.

31. Mirosław Smieszek, Vasyl Mateichyk, Roman Symonenko, Igor Gritsuk, Mykola Bulgakov, In-

formation system for remote monitoring of vehicle operational efficiency / *Machine Modeling and Simulations* 2021, 2021 / https://www.mmsconf.eu/index.php/mms/mms2021/paper/view/668_MMS_2021, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1199 (2021) 012081, IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/1199/1/012081

32. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure / ISSN 2523-3440, ISSN 2523-3459 (electronic), ISBN 978-3-031-25862-6, ISBN 978-3-031-25863-3 (eBook), <https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3>, p.23–32

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Савенко Э.С. Научное сопровождение при подготовке статьи, получение результатов и их анализ.

Каспарьянц А.Г. Основная работа по исследованию и сбору информации для составления статьи. Постановка задачи, анализ результатов.

Савенков Н.В. Методическое сопровождение при подготовке статьи. Оформление материала.

Матвиенко С.А. Сбор информации для составления статьи.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Eduard S. Savenko. Scientific support in the preparation of the article, obtaining the results and their analysis.

Akop G. Kasparyants. The main work on the research and collection of the information for the preparation of the article. Task statement, analyzing the results.

Nikita V. Savenkov. Methodological support in the preparation of the article. The article layout.

Sergei A. Matvienko. Collecting information for writing an article.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Савенко Эдуард Станиславович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Автомобильный транспорт, сервис и эксплуатация» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (286123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0524-9160>, SPIN-код: 5735-8017, e-mail: e.s.savenko@donnasa.ru

Савенков Никита Владимирович – канд. техн. доц., заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт, сервис и эксплуатация» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (286123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3803-9528>, SPIN-код: 8826-7511, e-mail: n.v.savenkov@donnasa.ru

Матвиенко Сергей Анатольевич – канд. техн., доц. кафедры «Автомобильный транспорт, сервис и эксплуатация» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (286123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3803-9528>, SPIN-код: 5117-2172, e-mail: s.a.matvienko@donnasa.ru

Каспарьянц Акоп Герасимович – канд. техн., доц. кафедры «Автомобильный транспорт, сервис и эксплуатация», заслуженный работник транспорта Украины, Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (286123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2), **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0002-6827-6065>, **SPIN-код:** 4496-9160, e-mail: a.g.kaspar@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Eduard S. Savenko. Cand. of Sci., Associate Professor of the Automotive Transport, Service and Operation Department, Donbass National Academy of Civil Engineering and Construction (286123, DPR, Makeevka, Derzhavin St., 2), **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0004-0524-9160>, **SPIN-код:** 5735-8017, e-mail: e.s.savenko@donnasa.ru

Nikita V. Savenkov. Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Automobile Transport, Service

and Operation Department, Donbass National Academy of Civil Engineering and Construction (286123, DPR, Makeevka, Derzhavin St., 2), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3803-9528>, **SPIN-код:** 8826-7511, e-mail: n.v.savenkov@donnasa.ru

Sergei A. Matvienko. Cand. of Sci., Associate Professor of the Automotive Transport, Service and Operation Department, Donbass National Academy of Civil Engineering and Construction (286123, DPR, Makeevka, Derzhavin St., 2), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3803-9528>, **SPIN-код:** 5117-2172, e-mail: s.a.matvienko@donnasa.ru

Akop G. Kasparyants. Cand. of Sci., Associate Professor of the Automobile Transport Department, Donbass National Academy of Civil Engineering and Construction (286123, DPR, Makeevka, Derzhavin St., 2), **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0002-6827-6065>, **SPIN-код:** 4496-9160, e-mail: a.g.kaspar@mail.ru