

МЕТОДИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ РЕГУЛИРОВКЕ КЛАПАННОГО ЗАЗОРА В МЕХАНИЗМЕ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Е. А. Белозерцев¹, Е. А. Ижбулдин², В. И. Кочергин³

Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

¹ e-mail: belozercevjoni911@gmail.com

² e-mail: izhbuldinea@mail.ru

³ e-mail: vkplus2011@yandex.ru

Аннотация. Актуальность исследований обусловлена проблемами организации авторемонтного производства в современных условиях, связанных с трудностью логистики и высокой стоимостью зарубежных запасных частей, что подтверждается анализом отечественных и зарубежных литературных источников. Особое значение в этом случае приобретают методики оптимизации баланса затрат на выполнение ремонтно-восстановительных воздействий и замену дефектных деталей. Целью работы является повышение качества ремонта подвижного состава автомобильного транспорта на основе применения методов восстановления размерных связей. Данное исследование призвано заполнить существующий пробел в знаниях, вызванный отсутствием методик восстановления конкретных ремонтных связей. Использование в авторемонтном производстве новых деталей наряду с восстановленными или бывшими в эксплуатации вызывает необходимость более широкого применения методов оптимизации предельных значений износов и процессов восстановления элементов размерной цепи. Материалы и методы исследования представлены примером разработки методики восстановления необходимых параметров размерных связей при регулировке величины клапанного зазора, поскольку тепловой зазор в механизме газораспределения двигателя внутреннего сгорания является важным элементом, влияющим на эффективность эксплуатации автомобильного двигателя. Научная новизна работы заключается в исследовании двух различных потенциально пригодных для реализации в ремонтном производстве способов восстановления размерных связей при уменьшении клапанного зазора путем механической обработки внешних или внутренних контактных поверхностей толкателей автомобильных двигателей. Исследования проведены применительно к широко распространенному у автомобильных двигателей с верхним расположением распределительных валов уменьшению зазора в условиях эксплуатации, так как уменьшение клапанного зазора в большей степени, чем его увеличение, влияет на эффективность эксплуатации машин. Приведено уравнение размерной цепи клапанной группы, в которой клапанный зазор является замыкающим звеном. В результате последовательного дискретного снятия поверхностных слоев металла толкателей с шагом 0,05 мм и измерения твердости поверхностных слоев установлено, что данный подход к восстановлению ремонтных связей может быть рекомендован к использованию в авторемонтном производстве, причем более предпочтительным способом является регулировка клапанного зазора путем шлифования наружной поверхности толкателей. Полученные данные могут служить основой для дальнейших исследований в области разработки комплекса технологий восстановления конкретных размерных цепей при использовании ремонтных комплектов, включающих детали с различной точностью изготовления или бывшие в эксплуатации.

Ключевые слова: авторемонтное производство, автомобильный двигатель, газораспределительный механизм, клапанный зазор, толкатель, размерная цепь.

Для цитирования: Белозерцев Е. А., Ижбулдин Е. А., Кочергин В. И. Методика восстановления размерных связей при регулировке клапанного зазора в механизме газораспределения автомобильного двигателя внутреннего сгорания // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 4. – С. 76–85. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-4-76>.

Original article

METHODOLOGY FOR RESTORING DIMENSIONAL CONNECTIONS WHEN ADJUSTING THE VALVE CLEARANCE IN THE GAS DISTRIBUTION MECHANISM OF AN AUTOMOBILE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

E. A. Belozertsev¹, E. A. Izhbuldin², V. I. Kochergin³

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

¹ e-mail: belozercevjoni911@gmail.com

² e-mail: izhbuldinea@mail.ru

³ e-mail: vkplus2011@yandex.ru

Abstract. *The relevance of research is due to the problems of organizing auto repair production in modern conditions associated with the difficulty of logistics and the high cost of foreign spare parts, which is confirmed by the analysis of domestic and foreign literary sources. Of particular importance in this case are the methods of optimizing the balance of costs for performing repair and restoration actions and replacing defective parts. The purpose of the work is to improve the quality of repair of rolling stock of road transport based on the use of methods for restoring dimensional connections. This study is designed to fill the existing knowledge gap caused by the lack of methods for restoring specific repair links. The use of new parts in repair, along with restored or used ones, necessitates the wider use of methods for optimizing the limit values of wear and recovery processes of dimension chain elements. The materials and methods of research are presented as an example of the development of a technique for restoring the necessary parameters of dimensional connections when adjusting the valve gap value, since the thermal gap in the timing mechanism of an internal combustion engine is an important element affecting the efficiency of the car engine. The scientific novelty of the work lies in the study of two different methods potentially suitable for implementation in the repair industry for restoring dimensional ties while reducing the valve gap by machining the outer or inner contact surfaces of car engine pushers. Studies have been carried out in relation to the decrease in the gap in operating conditions, which is widespread in automobile engines with overhead camshafts, since a decrease in the valve gap to a greater extent than an increase in it affects the efficiency of the machines. The equation of the size chain of the valve group is given, in which the valve gap is the closing link. As a result of sequentially discretely removing the surface layers of the pusher metal at 0.05 mm intervals and measuring the hardness of the surface layers, it has been found that this approach to restoring repair bonds can be recommended for use in auto repair production, with a more preferred method being to adjust the valve clearance by grinding the outer surface of the pushers. The data obtained can serve as the basis for further research in the development of a set of technologies for restoring specific size chains using repair kits that include parts with different manufacturing accuracy or that have been in operation.*

Key words: *car repair plant, automobile engine, gas distributing mechanism, valve clearance, pusher, size chain.*

Cite as: Belozertsev, E. A., Izhbuldin, E. A., Kochergin, V. I. (2024) [Methodology for restoring dimensional connections when adjusting the valve clearance in the gas distribution mechanism of an automobile internal combustion engine]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 4, pp. 76–85. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-4-76>.

Введение

Одной из наиболее актуальных задач организации авторемонтного производства является обеспечение его экономической эффективности на основе использования рациональных технологических процессов ремонта. Особое значение в современных условиях, характеризующихся сложностью логистических процедур доставки и существенным удорожанием запасных частей для автомобилей зарубежного производства, приобретают методики оптимизации баланса затрат на выполнение ремонтно-восстановительных воздействий и замену дефектных деталей.

Использование новых деталей наряду с восстанов-

ленными или контрактными, то есть, уже бывшими в эксплуатации, затрудняет реализацию традиционных принципов взаимозаменяемости и оказывает значительное влияние на ресурсные показатели отремонтированных узлов и агрегатов. Выходом из данной ситуации может служить более широкое применение методов размерного анализа, обеспечивающих обоснование оптимальных значений предельных износов отдельных деталей с учетом степени их влияния на работоспособность других элементов размерной цепи. Под размерной цепью здесь следует понимать совокупность взаимосвязанных контролируемых и, по возможности, восстанавливаемых в процессе ре-

монта размеров деталей, составляющих замкнутый контур. Взаимное положение в пространстве сопряженных поверхностей отдельных деталей, полученное в результате ремонта, должно в идеале приближаться к конструкторским параметрам точности. Именно обеспечение допустимого взаимного положения поверхностей отдельных элементов ремонтируемого изделия является основной практической задачей расчета размерных цепей.

Классический метод расчета пространственного анализа представляет собой комплекс вычислительных и аналитических операций, сопутствующих разработке и анализу технологических процессов. При этом размерный анализ технологических процессов заключается не только в построении специальных размерных схем и размерных цепочек, но и в назначении разумных допусков, выявлении необходимых резервов ресурса, а также в расчете размеров средних и минимальных запасов. В современных условиях необходимо совершенствование существующих методик практического применения размерного анализа, способствующих, в первую очередь, уменьшению временных затрат на их реализацию [15].

Целью данной работы является повышение качества ремонта подвижного состава автомобильного транспорта путем совершенствования методов восстановления размерных связей на примере восстановления оптимальной величины клапанного зазора.

Обзор литературы

Модели и методики анализа и построения размерных цепей в основном используются в промышленности для оценки влияния геометрических допусков

на возможность сборки изделий и оценки надежного контакта в сопряжениях, в том числе, в нерегулярных (с периодически возникающим зазором) кулачковых механизмах газораспределения, например, путем формирования стадий предварительной обработки, обработки и постобработки [16]. Соответственно, существующие исследования в данной области преимущественно направлены на обеспечение технологических процессов при изготовлении производства и сборки сборочных единиц.

Однако не менее важным, что подтверждается анализом литературных источников, является применение методов анализа и расчета размерных цепей в ремонтном производстве. Точность, которую необходимо достичь при восстановлении размерных цепей ремонтируемого агрегата, и которая должна приближаться к точности изготовления нового изделия, может быть достигнута именно путем использования эффективного инструмента разработки рекомендаций по формированию ремонтных сборочных комплектов на основе оценки состояния размеров деталей. Данный подход позволяет существенно увеличить после-ремонтный ресурс как конкретных размерных цепей, так и машины в целом [4].

Среди разработок в области использования анализа и расчета размерных цепей при эксплуатации и ремонте машин следует выделить работы Карепина П. А., в которых, в частности, предлагается решение проблемы оценки влияния погрешности составляющих цепи на суммарную погрешность замыкающего звена, определяющего функциональность сборочной единицы [3]:

$$\mu_i = \frac{T_{\Delta}}{T_i} = \xi_i + \xi_1 \frac{T_1}{T_i} + \dots + \xi_{n-1} \frac{T_{n-1}}{T_i}, \quad (1)$$

где

- μ_i – коэффициент степени влияния i -го звена на звено замыкающее;
- ξ_i – передаточное отношение i -го звена;
- T_{Δ}, T_i – соответственно, допуски замыкающего и i -го составляющего звеньев.

Особый интерес представляют раскрытые, например, в работах Аверченкова В. И. [1], Брылева А. В. [2], Дальского А. М. [10] и других авторов проблемы так называемой технологической наследственности при формировании качества изготавливаемых или восстанавливаемых деталей. Здесь под анализом технологической наследственности понимается всестороннее изучение точности изготовления либо восстановления размерной цепи, физико-механических свойств ее элементов, а также переноса приобретенных от предыдущих операций или процессов износа свойств со-

ответствующего звена, к последующим воздействиям на элементы цепи, влияющих в дальнейшем на эксплуатационные свойства сборочных единиц машин.

В работах Михлина В. М. и Дорогого В. Н. были предложены методические подходы к расчетам допусков в размерных цепях ремонтируемых механизмов при заданной оптимальной величине замыкающего звена, в которых в качестве критерия оптимизации предлагается использовать минимизацию удельных суммарных затрат на ремонт и эксплуатацию отремонтированного узла или машины в целом [6].

Также следует отметить исследования Харламова Ю. А., Ситникова А. А., Истомина А. Б. и других ученых [7; 8; 9] в отношении разработки методик размерного анализа технологических процессов для обоснования припусков и толщины наносимых покрытий при восстановлении исходных размеров деталей, позволяющих выбирать и уточнять способы нанесения и обработки восстановительных слоев.

Расчеты размерных цепей характеризуются значительной трудоемкостью, поэтому ряд известных работ отечественных и зарубежных авторов, таких, как Катаргин В. М., Писарев И. С. и других [13; 15], посвящены вопросам их автоматизации. Кроме того, в исследованиях Катаргина В. Н. и Хмельницкого С. В. на основе разработки методик технико-экономической оценки интегральных размерных моделей разработаны методики обоснования выбора вида ремонта агрегатов и автоматизации обеспечения потребности в запасных частях при эксплуатации транспортных средств [5; 11; 12].

Анализ отечественных и зарубежных литературных источников показывает, что исследования в области практического применения методик восстановления размерных связей в авторемонтном производстве носят в основном теоретический характер и направлены преимущественно на оптимизацию процессов нанесения ремонтных покрытий при восстановлении деталей либо посвящены вопросам автоматизации расчета размерных цепей. Приведенные в предлагаемой работе результаты исследований призваны служить основой для разработки комплекса технологических процессов восстановления конкретных размерных цепей при использовании в авторемонтном производстве ремонтных комплектов, включающих детали с различной точностью изготовления или бывшие в эксплуатации.

Методы

Восстановление размерных связей в ремонтном производстве должно обеспечивать минимизацию функции [5]:

$$f(C_R, C_T) = f(L_{\text{lim}}, N_Z) + f(\Delta T, \Delta N_R) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где

C_R и C_T – соответственно, изменение суммарных издержек от недоиспользования ресурса деталей и их замены;

L_{lim} – величина остаточного ресурса заменяемой детали;

N_Z – количество одновременных замен деталей;

ΔT – разность величины трудоемкости в зависимости от вида восстановительного ремонта;

ΔN_R – разность количества ремонтов.

Клапанный тепловой зазор в механизме газораспределения автомобильного двигателя внутреннего сгорания является важным элементом, влияющим на топливно-экономические и мощностные показатели работы двигателя. Именно поэтому процедура его регулировки приводится в данной работе в качестве примера восстановления размерных связей. Принято считать, что в процессе эксплуатации тепловой зазор клапанного механизма из-за износа деталей увеличивается и подлежит согласно регламенту ремонтно-обслуживающих воздействий периодической регулировке с целью его возвращения к нормативным значениям. Однако опыт эксплуатации автотранспортной техники показывает, что зачастую с увеличением наработки автомобиля клапанный зазор имеет, наоборот, тенденцию к уменьшению.

Причиной такого положения дел являются дифференцированные процессы износа элементов газораспределительного механизма (ГРМ), составляющих размерную цепь, замыкающим звеном в которой и является величина теплового зазора в приводе кла-

панов. Износы в сопряжении «седло–клапан» приводят к увеличению глубины посадки клапана в седле и, соответственно, к уменьшению теплового зазора, а износы опорных поверхностей и кулачков распределительного вала, торцов толкателей и клапанов, напротив, способствуют его увеличению. При этом уменьшение зазора ниже оптимальных значений имеет более негативные последствия для силового агрегата автомобиля вплоть до возможного повреждения головки блока цилиндров и клапанов. Таким образом, уменьшение клапанного зазора не только нарушает организацию фаз газораспределения, но и серьезно влияет на эффективность эксплуатации транспортно-технологических машин. Необходимость регулярного восстановления размерных связей при регулировке клапанного зазора в полной мере соответствует прогрессивной стратегии рискоориентированного обслуживания (risk-based maintenance), основанной на выявлении наиболее важных узлов, отказ которых имеет значительные последствия не только для машины, но и для эффективности выполняемого ею технологиче-

ских или транспортных операций [14].

Увеличение или уменьшение в процессе эксплуатации оптимальной величины клапанного зазора Z_{opt} ,

как и любого другого замыкающего звена размерной цепи, определяется выражением:

$$Z_{onm} = \sum_{j=1}^k EI - \sum_{g=1}^m ES, \quad (3)$$

где

EI – наименьший предельный размер j -го увеличивающего звена;

ES – наибольший предельный размер g -го уменьшающего звена.

Состав и степень влияния факторов, определяющих итоговую величину клапанного зазора при ремонте и регулировке, может существенно варьироваться из-за особенностей конструкции ГРМ конкретной энергетической установки, а также качества установленных деталей. Применительно к широко распространенным на современных легковых автомобилях двигателях с расположением распределительных валов в головке блока цилиндров (SOHC или DOHC) уравнение размерной цепи привода клапанов можно представить в виде последовательности изменения размеров деталей в процессе эксплуатации, увеличивающих либо уменьшающих оптимальную величину клапанного зазора ΔZ , являющегося замыкающим звеном цепи:

Уравнение размерной цепи привода клапанов можно представить в виде последовательности изменения размеров деталей в процессе эксплуатации, увеличивающих либо уменьшающих оптимальную величину клапанного зазора ΔZ , являющегося замыкающим звеном цепи:

$$\Delta Z = \Delta O + \Delta B \pm \Delta И + \Delta e + \Delta ПТ + \Delta BT + \Delta C - \Delta ТК - \Delta СК \pm \Delta t. \quad (4)$$

Выражение (4) показывает, что в изменении клапанного зазора участвуют соответственно износы опор (постели) распределительного вала Δ_o , опорных поверхностей вала Δ_b , изгиб распредвала $\Delta_{и}$, износ эксцентричных поверхностей кулачков Δ_e , износ пяты толкателя $\Delta_{пт}$, внутренних поверхностей толкателя Δ_{bt} , стержня клапана Δ_c , тарелки клапана $\Delta_{тк}$ и седла клапана $\Delta_{ск}$. В приведенном уравнении присутствует также температурная характеристика изменения теплового зазора Δ_t , которая обычно не принимается во внимание, если регулировка производится при стандартной температуре окружающего воздуха плюс 20 °С.

Выражение (4) показывает, что в изменении клапанного зазора участвуют соответственно износы опор (постели) распределительного вала Δ_o , опорных поверхностей вала Δ_b , изгиб распредвала $\Delta_{и}$, износ эксцентричных поверхностей кулачков Δ_e , износ пяты толкателя $\Delta_{пт}$, внутренних поверхностей толкателя Δ_{bt} , стержня клапана Δ_c , тарелки клапана $\Delta_{тк}$ и седла клапана $\Delta_{ск}$. В приведенном уравнении присутствует также температурная характеристика изменения теплового зазора Δ_t , которая обычно не принимается во внимание, если регулировка производится при стандартной температуре окружающего воздуха плюс 20 °С.

Традиционные рекомендуемые заводами-изготовителями методы регулировки и восстановления размерных цепей заключаются в подборе и замене толкателей из числа новых изделий. Данный подход к организации ремонта является в настоящее время неоптимальным в связи со сложной логистической ситуацией и высокой стоимостью запасных частей. Следовательно, требуется более технологичный и дешевый метод восстановления размерных связей при регулировке теплового зазора. Научная новизна работы заключается в исследовании двух различных потенциально пригодных для реализации в ремонтном производстве способов восстановления размерных связей при уменьшении клапанного зазора путем механической обработки внешних или внутренних контактных поверхностей толкателей автомобильных двигателей для изменения высоты и, в итоге, величины клапанного зазора.

В случае наличия при сборке размерной цепи новых (неизношенных) и восстановленных деталей характеристику суммарного допуска замыкающего звена Z_{Σ} можно представить как сумму допусков отдельных звеньев:

$$\Sigma = \sum_{i=1}^n \xi_i (P_{ni} T_{ni} + P_{ui} T_{ui}), \quad (5)$$

где

ξ_i – передаточное отношение i -го звена;

T_{ni} и T_{ui} – соответственно технологический и расширенный допуски i -го звена размерной цепи;

P_{ni} и P_{ui} – вероятности появления при ремонте новой и бывшей в эксплуатации восстановленной детали.

Результаты исследования

В качестве образцов при проведении экспериментальных исследований по восстановлению размерной цепи клапанного зазора путем изменения высоты толкателя были выбраны не подвергавшиеся восстанови-

тельным операциям толкатели клапанов автомобильных двигателей внутреннего сгорания TOYOTA 2AZ-FE (номинальный размер 5,44 мм) и SUBARU EJ204 (номинальный размер 5,04 мм).

Для восстановления размерных связей при умень-

шении клапанного зазора внешние и внутренние контактные поверхности толкателей были подвергнуты механической обработке двумя различными потенциально пригодными для реализации в ремонтном производстве способами. Первый из выбранных способов предполагает обработку на плоскошлифовальном станке наружной поверхности пяты толкателей, в ходе которой с рабочих поверхностей закрепленных на магнитном столе деталей дискретно (с шагом 0,05 мм) снимался слой металла 0,20 мм. Поскольку механическая обработка толкателей предполагает изменение физико-механических свойств их рабочих поверхно-

стей, перед началом экспериментов были произведены замеры твердости пяты толкателей с использованием конусного алмазного наконечника с углом при вершине 120°. Полученные результаты четырех измерений твердости каждого образца и средние значения твердости для каждого толкателя приведены в таблице 1. Затем, после завершения последовательного удаления каждого слоя, вновь производилось измерение твердости пяты толкателей с целью определения ее значений на разной глубине. Полученные результаты представлены на рисунке 1.

Таблица 1. Твердость пяты толкателей до снятия слоя металла

Модель двигателя	Твердость толкателя по Роквеллу HRC				Среднее значение твердости HRC
	0,00	0,05	0,10	0,15	
2AZ-FE	61	60	60,5	60,5	60,50
EJ204	59	58	58,5	57	58,13

Источник: разработано авторами

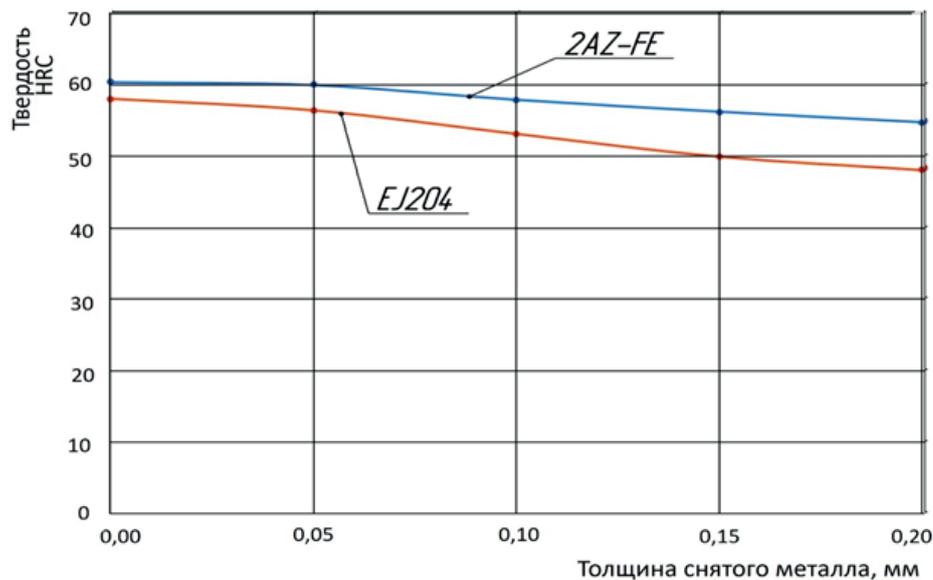


Рисунок 1. Изменение твердости наружных поверхностей пяты толкателей в зависимости от толщины снятого металла

Источник: разработано авторами

В результате измерений установлено, что при данном варианте механической обработки снятие слоев металла, равных 0,20 мм, приводит к уменьшению твердости толкателей по шкале Роквелла, причем после каждого этапа шлифования она уменьшается в среднем на 2% и в конечном итоге суммарное сни-

жение твердости составляет примерно 13,3%. Такой результат, полученный при данном способе восстановления размерных связей с использованием снятия термически обработанного слоя с поверхности толкателя, является приемлемым и может быть рекомендован к использованию в ремонтном производстве. При

этом следует учитывать уменьшение заложенных заводами-изготовителями значений твердости контактных поверхностей при значительной глубине обработки и возможное снижение ресурса автомобильных двигателей.

В качестве второго возможного варианта восстановления размерных связей при регулировке клапанного зазора было предложено шлифование внутренних поверхностей толкателей на вертикально-фрезерном (или при его отсутствии на сверлильном) станке

при помощи установленного в шпиндель станка шлифовального камня. В эксперименте использовался шлифовальный круг на основе оксида алюминия. Здесь также выполнялись четыре последовательных этапа обработки с шагом снятия металла 0,05 мм и замерами твердости для каждого из выбранных толкателей. Начальные значения высоты и твердости внутренних поверхностей толкателей до снятия металла представлены в таблице 2.

Таблица 2. Начальные значения твердости внутренних поверхностей толкателей до снятия слоя металла

Модель двигателя	Высота толкателя до обработки, мм	Среднее значение твердости толкателя по Роквеллу HRC
2AZ-FE	5,23	52,30
EJ204	4,84	53,00

Источник: разработано авторами

Результаты оценки твердости внутренних поверхностей пяты толкателей в зависимости от глубины обработки металла представлены на рисунке 2. Установлено, что при данном способе шлифования в связи с изменением температурного режима обработки и ряда других факторов при снятии слоя металла толщиной 0,05 мм твердость пяты в среднем уменьшается на 5,4% после каждого этапа механической обработки и в итоге суммарное ее снижение составляет 18,83%. Такой результат уменьшения твердости контактной

поверхности превышает аналогичные показатели при использовании первого из предложенных способов механической обработки толкателей. Следовательно, более предпочтительным является применение методики восстановления размерных связей при регулировке клапанного зазора в механизме газораспределения автомобильного двигателя путем шлифования наружной поверхности толкателей, так как в этом случае обеспечивается сохранение физико-механических свойств их рабочих поверхностей в допустимых пределах.

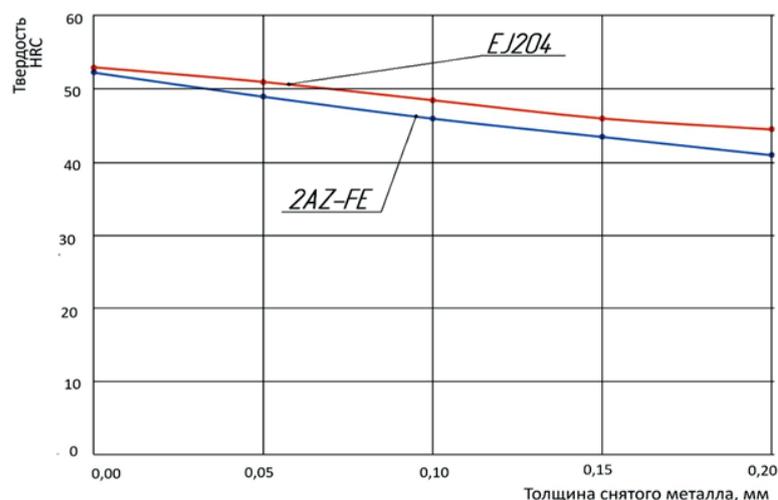


Рисунок 2. Изменение твердости внутренних поверхностей пяты толкателей в зависимости от толщины снятого металла

Источник: разработано авторами

Заключение

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы.

Современные условия организации авторемонтного производства характеризуются проблемами, связанными с трудностью логистики и существенным удорожанием запасных частей для транспортных средств зарубежного производства. В этом случае особое значение приобретают методики оптимизации баланса затрат на выполнение ремонтно-восстановительных воздействий и замену дефектных деталей. Использование при ремонте новых деталей наряду с восстановленными или уже бывшими в эксплуатации вызывает необходимость более широкого применения методов размерного анализа, способствующих оптимизации предельных значений износов и процессов восстановления элементов размерной цепи.

Необходимая точность восстановления размерных связей ремонтируемого узла может быть достигнута путем формирования ремонтных сборочных комплектов на основе оценки состояния размеров деталей, составляющих размерную цепь. В качестве примера восстановления размерных связей в данной работе приводится процедура регулировки клапанного зазора в случае широко распространенного в условиях эксплуатации уменьшения зазора у автомобильных

двигателей с расположением распределительных валов в головке блока цилиндров. Приведено уравнение размерной цепи клапанной группы, в которой клапанный зазор является замыкающим звеном.

Рассмотрены два пригодных для практической реализации способа восстановления размерных связей при уменьшении клапанного зазора путем механической обработки внешних или внутренних контактных поверхностей толкателей различных автопроизводителей. В результате исследований показано, что данный подход к восстановлению ремонтных связей может быть рекомендован к использованию в авторемонтном производстве. Так как при этом необходимо учитывать возможное изменение физико-механических свойств материала толкателей, в качестве критерия выбора между различными способами восстановления замыкающего звена размерной цепи клапанного зазора предложено минимальное уменьшение твердости рабочих поверхностей. Дискретное снятие и измерение твердости поверхностных слоев металла показали, что более предпочтительной является регулировка клапанного зазора шлифованием наружной поверхности толкателей. Полученные результаты могут служить основой для разработки технологических процессов ремонта автомобилей в условиях дефицита запасных частей.

Литература

1. Аверченков В. И., Васильев А. С., Хейфец М. Л. Технологическая наследственность при формировании качества изготавливаемых деталей // *Научно-технические технологии в машиностроении*. – 2018. – № 10. – С. 27–32.
2. Брылев А. В., Лизунов И. В., Николусь А. А. Влияние технологической наследственности на точность получения размеров при механической обработке деталей машин // *Главный механик*. – 2022. – № 1. – С. 58–70. – <https://doi.org/10.33920/pro-2-2201-06>.
3. Карепин П. А. Математические основы теории размерных цепей при технологическом и метрологическом обеспечении качества изделий. – Москва: Информагротех, 1999. – 324 с.
4. Катаргин В. Н., Писарев И. С. Ремонт агрегатов автомобилей управлением точностью размерных связей // *Автомобильная промышленность*. – 2008. – № 3. – С. 27–29.
5. Катаргин В. Н., Хмельницкий С. В. Обоснование выбора вида ремонта агрегатов транспортных средств на основе технико-экономической оценки, полученной на интегральной размерной модели // *Вестник ИрГТУ*. – 2015. – № 2(97). – С. 150–156.
6. Михлин В. М., Дорогой В. Н. Метод определения допускаемых износов деталей, обеспечивающий повышение их безотказности // *Вестник машиностроения*. – 2008. – № 7. – С. 11–14.
7. Размерный анализ технологических процессов восстановления деталей машин / Ю. А. Харламов [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. – 2021. – № 7(734). – С. 37–47. – <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2021-5-37-47>.
8. Ситников А. А., Собачкин А. В., Камышов Ю. Н. Проектирование технологических процессов изготовления и ремонта деталей с износостойкими покрытиями // *Научно-технические технологии в машиностроении*. – 2019. – № 2. – С. 29–36. – https://doi.org/10.30987/article_5c486cc46295f0.57582754.
9. Способы восстановления деталей в ремонтном производстве / А. Б. Истомин [и др.] // *Главный механик*. – 2021. – № 6. – С. 59–73. – <https://doi.org/10.33920/pro-2-2106-05>.
10. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / А. М. Дальский [и др.]. – Москва: Изд-во МАИ, 2000. – 360 с.
11. Формализация потребности в запасных частях при эксплуатации автотранспортных средств / В. М. Тер-

ских [и др.] // Вестник ИрГТУ. – 2017. – Т. 21, № 3(122). – С. 174–183. – <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2017-3-174-183>.

12. Katargin V. N., Terskikh V. M. (2012) Improving the efficiency of Maintenance and Repair on Enterprises official Dealers using the automated System inventory Management, *Czasopismo Techniczne, Politechniki Krakowskiej*. Vol. 4, No. 9, pp. 181–185.

13. Katargin V., Pisarev I., Khmel'nikskiy S. (2013) Supporting Model of Decision-Making on Advisability to Carry on the Repair-and-Renewal Operations. *International Conference on Transport Means, Kaunas Univ Technol*, pp. 304–307.

14. Kochergin V. et al. (2021) Optimization of technical monitoring processes. *TransSiberia 2020 Conference, Transportation Research Procedia*, 54, pp. 166–172. – <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.061>.

15. Lealin S. (2024) Comparison and Evaluation of classical Methods of dimensional Chains Theory and their modern Analogues, *Journal of Engineering Science*, 30(4), pp. 20–30. – [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30\(4\).02](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30(4).02).

16. Schleich B., Wartzack S. (2014) A discrete geometry Approach for tolerance Analysis of Mechanism, *Mechanism and Machine Theory*, 77, pp. 148–163. – <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2014.02.013>.

References

1. Averchenkov, V. I., Vasil'ev, A. S., Hejfec, M. L. (2018) [Technological heredity in the formation of the quality of manufactured parts]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii* [Science-intensive technologies in mechanical engineering]. Vol. 10, pp. 27–32. (In Russ.).

2. Brylev, A. V., Lizunov, I. V., Nikolus', A. A. (2022) [Influence of technological heredity on accuracy of obtaining dimensions during machining of machine parts]. *Glavnyj mekhanik* [Chief mechanical engineer]. Vol. 1, pp. 58–70. – <https://doi.org/10.33920/pro-2-2201-06>. (In Russ.).

3. Karepin, P. A. (1999) *Matematicheskie osnovy teorii razmernyh cepej pri tekhnologicheskom i metrologicheskom obespechenii kachestva izdelij* [Mathematical foundations of the theory of dimensional circuits in process and metrological quality assurance of products]. Moscow: Informagrotekh, 324 p.

4. Katargin, V. N., Pisarev, I. S. (2008) [Repair of vehicle units by control of dimensional links accuracy]. *Avtomobil'naya promyshlennost'* [Automotive industry]. Vol. 3, pp. 27–29. (In Russ.).

5. Katargin, V. N., Hmel'nickij, S. V. (2015) [Justification of the choice of the type of repair of vehicle units based on the technical and economic assessment obtained on the integral dimensional model]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk state technical university]. Vol. 2(97), pp. 150–156. (In Russ.).

6. Mihlin, V. M., Dorogoj, V. N. (2008) [The method of determining the permissible wear of parts, ensuring an increase in their reliability]. *Vestnik mashinostroeniya* [Bulletin of mechanical engineering]. Vol. 7, pp. 11–14. (In Russ.).

7. Kharlamov, Yu. A. et al. (2021) [Dimensional analysis of technological processes of machine parts recovery]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie* [News of higher educational institutions. Mechanical engineering]. Vol. 7(734), pp. 37–47. – <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2021-5-37-47>. (In Russ.).

8. Sitnikov, A. A., Sobachkin, A. V., Kamyshev, Yu. N. (2019) [Design of manufacturing and repair processes for parts with wear-resistant coatings]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii* [Science-intensive technologies in mechanical engineering]. Vol. 2, pp. 29–36. – https://doi.org/10.30987/article_5c486cc46295f0.57582754. (In Russ.).

9. Istomin, A. B. et al. (2021) [Ways to restore parts in repair production]. *Glavnyj mekhanik* [Chief mechanical engineer]. Vol. 6, pp. 59–73. – <https://doi.org/10.33920/pro-2-2106-05>. (In Russ.).

10. Dal'skij, A. M. et al. (2000) *Tekhnologicheskaya nasledstvennost' v mashinostroitel'nom proizvodstve* [Technological heredity in machine-building production]. Moscow: MAI, 360 p. (In Russ.).

11. Terskikh, V. M. et al. (2017) [Formalization of spare parts requirements for the operation of motor vehicles]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk state technical university]. Vol. 21, Issue 3(122), pp. 174–183. – <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2017-3-174-183>. (In Russ.).

12. Katargin, V. N., Terskikh, V. M. (2012) Improving the efficiency of Maintenance and Repair on Enterprises Official Dealers using the automated System inventory Management *Czasopismo Techniczne, Politechniki Krakowskiej*, Vol. 4, Issue 9, pp. 181–185. (In Eng.).

13. Katargin, V., Pisarev, I., Khmel'nikskiy, S. (2013) Supporting Model of Decision-Making on Advisability to Carry on the Repair-and-Renewal Operations. *International Conference on Transport Means, Kaunas Univ Technol*, pp. 304–307. (In Eng.).

14. Kochergin, V., et al. (2021) Optimization of technical monitoring processes. *TransSiberia 2020 Conference. Transportation Research Procedia*, 54, pp. 166–172. – <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.061>. (In Eng.).

15. Lealin, S. (2024) Comparison and Evaluation of classical Methods of dimensional Chains Theory and their modern

Analogues. *Journal of Engineering Science*, 30(4), pp. 20–30. – [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30\(4\).02](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30(4).02). (In Eng.).
16. Schleich, B., Wartzack, S. (2014) A discrete geometry Approach for tolerance Analysis of Mechanism (2014), *Mechanism and Machine Theory*, 77, pp. 148–163. – <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2014.02.013>. (In Eng.).

Информация об авторах:

Евгений Александрович Белозерцев, магистрант, направление подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

ORCID ID: 0009-0000-6984-8542

e-mail: belozercevjoni911@gmail.com

Евгений Александрович Ижбулдин, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

ORCID ID: 0009-0002-5991-159X, **Author ID:** 893056

e-mail: izhbuldinea@mail.ru

Виктор Иванович Кочергин, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

ORCID ID: 0000-0002-4883-1458, **Author ID:** 354538

e-mail: vkplus2011@yandex.ru

Вклад соавторов:

Белозерцев Е. А. – 40 %,

Ижбулдин Е. А. – 30 %,

Кочергин В. И. – 30 %.

Статья поступила в редакцию: 02.04.2024; принята в печать: 27.06.2024.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Evgeny Alexandrovich Belozertsev, postgraduate student, training program 23.04.03 Operation of transport and technological machines and complexes, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

ORCID ID: 0009-0000-6984-8542

e-mail: belozercevjoni911@gmail.com

Evgeny Alexandrovich Izhbuldin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport Engineering Technology and Machine Operation, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

ORCID ID: 0009-0002-5991-159X, **Author ID:** 893056

e-mail: izhbuldinea@mail.ru

Victor Ivanovich Kochergin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Transport Engineering Technology and Machine Operation, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

ORCID ID: 0000-0002-4883-1458, **Author ID:** 354538

e-mail: vkplus2011@yandex.ru

Contribution of the authors:

Belozertsev E. A. – 40%,

Izhbuldin E. A. – 30%,

Kochergin V. I. – 30%.

The paper was submitted: 02.04.2024.

Accepted for publication: 27.06.2024.

The authors have read and approved the final manuscript.