

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ / AGROENGINEERING SYSTEMS OF PROCESSES AND MACHINES

УДК 62-224.2:62-89

DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.154-168

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРИВОДА КЛАПАННОГО МЕХАНИЗМА ГОЛОВКИ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ

П. В. Сенин*, Н. В. Раков, А. М. Макейкин*ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)***vice-rector-innov@adm.mrsu.ru*

Введение. Статья посвящена повышению надежности головок блоков цилиндров за счет восстановления работоспособности клапанного механизма и элементов привода.

Материалы и методы. Для определения возможного хода гидрокомпенсаторов клапанных механизмов в новых и бывших в эксплуатации головках блоков цилиндров двигателя ЗМЗ-406 был использован метод размерного анализа. На основании микрометражных исследований и проведенных расчетов было описано несколько способов восстановления работоспособности головки блока цилиндров.

Результаты исследования. В результате проведенных исследований размерных цепей было установлено, что ход гидрокомпенсаторов в клапанных механизмах новых головок блоков цилиндров двигателя ЗМЗ-406 составляет 2,3 мм с предельными отклонениями $\pm 0,15$ мм. Для обоснования рациональных способов восстановления был произведен расчет размерной цепи, где в качестве допусков составляющих звеньев использовались предельные значения износов поверхностей, определяемые микрометражными исследованиями бывших в эксплуатации головок блоков цилиндров. В результате было установлено, что при наилучшей комбинации износов возможный допустимый ход гидрокомпенсатора составляет 1,98 мм, а при наихудшей – $-0,74$ мм, т. е. хода гидрокомпенсатора не хватает, чтобы компенсировать износы составляющих звеньев.

Обсуждение и заключения. Было предложено 4 способа повышения работоспособности клапанных механизмов. В качестве критерия выбора способа ремонта рекомендуется использовать суммарное значение просадки клапана. Ход гидрокомпенсаторов после ремонтных воздействий составляет в данном случае 1,57–2,36 мм, что соответствует ходу гидрокомпенсаторов новых головок блоков цилиндров.

Ключевые слова: головка блока цилиндров, клапанный механизм, клапан, гидрокомпенсатор, восстановление, работоспособность, способ ремонта, размерная цепь

Для цитирования: Сенин П. В., Раков Н. В., Макейкин А. М. Теоретическое обоснование способов восстановления работоспособности привода клапанного механизма головки блока цилиндров // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 2. С. 154–168. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.154-168



Благодарности: Опубликовано при поддержке проекта № г/б 2-17 «Разработка технологий и средств повышения долговечности деталей, узлов, агрегатов машин и оборудования, путем создания наноструктурированных покрытий источниками концентрированной энергии», проектной части в рамках работы «Проведение научно-исследовательских работ (фундаментальных научных исследований, прикладных научных исследований и экспериментальных разработок)».

A THEORETICAL BASIS FOR THE METHODS TO RESTORE WORKING CAPACITY OF VALVE-ACTIATING GEAR OF THE CYLINDER BLOCK HEAD

P. V. Senin*, N. V. Rakov, A. M. Makeykin

National Research Mordovia State University (Saransk, Russia)

*vice-rector-innov@adm.mrsu.ru

Introduction. The article describes the method of reliability improvement of the valve-actuating gear of the cylinder block head.

Material and Methods. The method of the dimensional analysis was used for definition of the possible travel of hydro compensator valve mechanisms in the new and used cylinder heads of ZMZ 406 motor. The method is based on micrometer research and precise calculations.

Results. The hydro compensator travel in the valve mechanisms of new motor cylinder heads of ZMZ-406 engine is 2.3 mm with maximum deviations of ± 0.15 mm. An estimation of dimensional chain was calculated for the rational methods of recovery. The limit values of surface wear were used as the limits of component links. The values were obtained using micrometer researches of used heads of cylinder blocks. When the best combination of wear, possible hydrocompensator travel is 1.98 mm, and when the worst one minus is 0.74 mm, that is, the hydrocompensator travel is not enough to compensate for the wear of component parts.

Discussion and Conclusions. The authors of the article propose four ways to improve efficiency of valve mechanisms. As a criterion for selecting a method of repair is proposed to use the total value of the valve. Sinkage for the proposed methods, hydrocompensator travel after repair is from 1.57 to 2.36 mm, which corresponds to the hydrocompensator travel of the new motor cylinder heads.

Keywords: cylinder block head, valve mechanism, valve, hydrocompensator bar, restoration, working capacity, repair mode, dimensional chain

For citation: Senin P. V., Rakov N. V., Makeykin A. M. A theoretical basis for the methods to restore working capacity of valve-actuating gear of the cylinder block head. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 27(2):154-168. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.154-168

Acknowledgements: The research was carried out with the support of the project no. g/b 2-17 Development of Technologies and Means for Increasing the Durability of Parts, Units, Machines and Equipment Assemblies by Creating Nanostructured Coatings with Sources of Concentrated Energy, the project part within the framework of the work Conducting Research Works (Fundamental Scientific Research, Applied Research and Experimental Development).

Введение

Головка блока цилиндров (ГБЦ) двигателя вместе с цилиндром образует надпоршневую полость, в которой происходят все тепловые процессы рабочего цикла. Клапанные механизмы в ГБЦ отвечают за выпуск смеси воздуха с топливом, сжатие рабочей смеси и выпуск отработавших газов. Нарушение их правильной работы приводит к потере мощности двигателя, повышенному расходу топлива и, в дальнейшем, полной неисправности двигателя.

В клапанных механизмах важную роль играет тепловой зазор клапанов. Для нормальной работы двигателя необходимо соблюдать время открытия/закрытия клапанов и сохранять их герметичность в закрытом состоянии. Когда двигатель еще не прогрет, между торцом клапана и коромыслом, или толкателем и распределительным валом должен присутствовать определенный заводом зазор, рассчитанный исходя из температурного расширения металлов. В процессе работы двигателя трущиеся детали изнашиваются, установленные зазоры изменяются. В современных двигателях (например, ЗМЗ-406) для регулирования теплового зазора в клапанном механизме ГБЦ используются толкатели с гидрокompенсаторами, которые автоматически выбирают зазор в зависимости от нагрева и состояния (износа) деталей двигателя и газораспределительного механизма.

Таким образом, основной задачей при проведении ремонтных работ по восстановлению работоспособности привода клапанного механизма ГБЦ является приведение характеристик составляющих элементов привода к заводским значениям.

Обзор литературы

В научной и учебной литературе можно выделить несколько направлений в области повышения надежности ГБЦ.

Одни работы посвящены диагностированию технического состояния ГБЦ. Например, в статье [1] для определения теплового зазора клапанов предлагается использовать нейтронно-сетевые модули диагностирования ДВС.

В других изучается теплонапряженное состояние ГБЦ, что позволяет оперативно определять и прогнозировать уровень теплового состояния в широком диапазоне режимов нагружения [2].

Третьи рассматривают пути повышения долговечности за счет совершенствования технологий изготовления и ремонта. Основное внимание в этом случае уделяется восстановлению работоспособности деталей и поверхностей ГБЦ, таких как направляющие втулки клапанов, клапаны, привалочная плоскость и седла клапанов¹ [3–5]. В рамках данного направления на кафедре технического сервиса машин ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» была разработана технология восстановления отверстий под распределительный вал алюминиевой ГБЦ двигателя ЗМЗ-406 [6]. Данная технология основана на применении комбинированного метода восстановления, при котором электроискровая обработка выступает в качестве подложки, а покрытия, полученные холодным газодинамическим напылением, являются основным слоем, воспринимающим нагрузку [7–8].

В статье [9] по результатам многофакторного эксперимента обосновываются режимы холодного газодинамического напыления по расходу

¹ **Ширяев В. М.** Повышение долговечности выпускных клапанов форсированных двигателей : дис. ... канд. техн. наук. Коломна, 1983. 196 с. URL: <http://dlib.rsl.ru/01003436266>



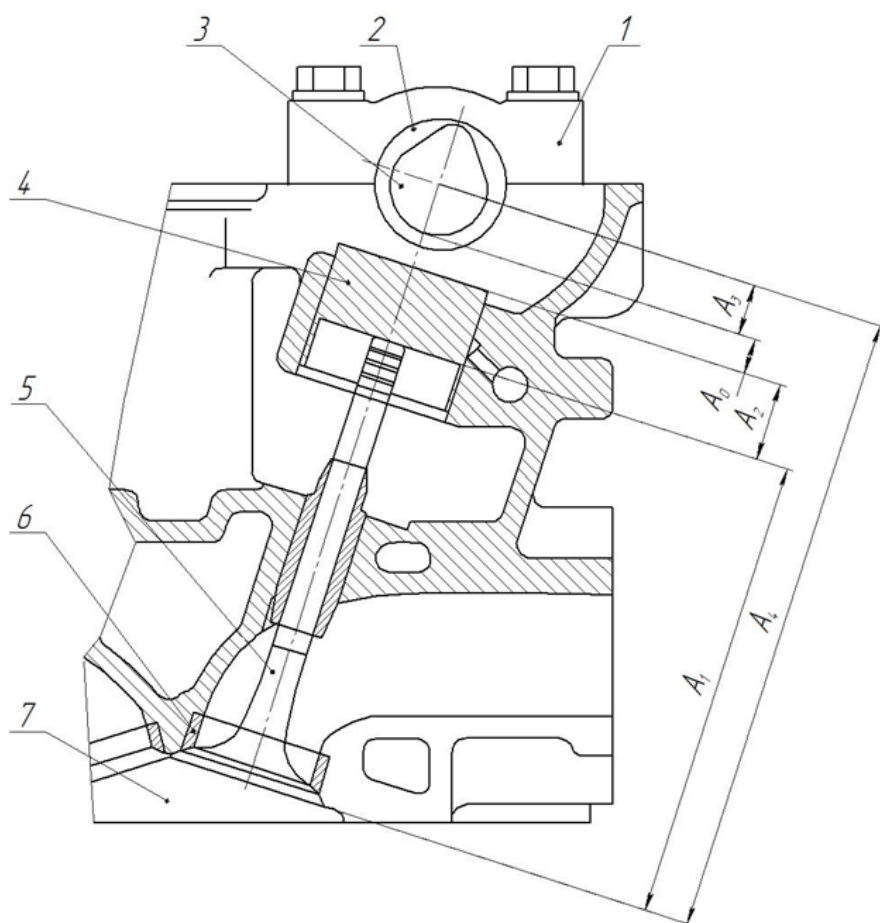
порошкового материала. Теоретические аспекты предлагаемого метода рассмотрены в трудах Ф. Х. Бурумкулова [7; 10; 12–16], А. Д. Верхотурова [14], В. И. Иванова [8; 10–16], С. А. Величко [10–13], П. А. Ионина [10; 13] и др. Авторы работ [10–15] рассматривают особенности процесса и свойства наноструктурированных покрытий получаемых электроискровой обработкой. Возможность использования электроискровой обработки и холодного газодинамического напыления рассмотрена в работе [16], где эффективность приме-

нения комбинированных покрытий обоснована оценкой прочности сцепления.

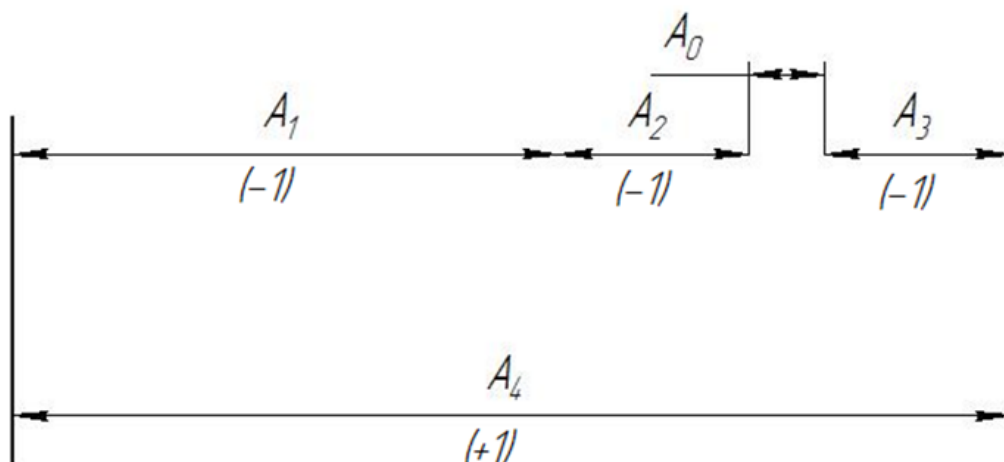
Недостатком всех проанализированных работ является то, что ГБЦ не рассматривается в них как единый агрегат. Следовательно, отсутствуют рекомендации по обоснованию рациональных способов восстановления работоспособности ГБЦ. Данную задачу предлагается решить на примере ГБЦ двигателя ЗМЗ-406.

Материалы и методы

Схема клапанного механизма двигателя представлена на рисунке (а).



а



б

Р и с у н о к. Схема клапанного механизма и его привода: а) клапанного механизма; б) размерной цепи (1 – бугели крепления распределительных валов; 2 – распределительный вал; 3 – кулачок; 4 – гидрокомпенсатор (в сжатом состоянии); 5 – клапан; 6 – седло клапана; 7 – корпус головки блока цилиндров; A_1 – длина клапана; A_2 – толщина гидрокомпенсатора; A_3 – радиус тыльной стороны кулачка; A_4 – расстояние от торца тарелки клапана до оси отверстия под распределительный вал; A_0 – ход гидрокомпенсатора)

F i g u r e. Valve mechanisms with actuator: а) valve mechanism; б) dimension chains (1 – ski lift of fastening the camshaft; 2 – camshaft; 3 – cam; 4 – hydrocompensator (in compressed condition); 5 – valve; 6 – valve seat; 7 – the body of the cylinder block head; A_1 – valve length; A_2 – hydrocompensator thickness; A_3 – the radius of the back side of the cam; A_4 – distance from the end of the valve to the axis of the hole under the camshaft; A_0 – the hydrocompensator travel)

Как видно из рисунка, на изменение толщины гидрокомпенсатора 4 оказывает влияние изменение положения клапана 5 и распределительного вала 2. Изменение положения данных деталей в процессе эксплуатации происходит за счет образования износов на фаске тарелки и торце клапана 5, рабочей поверхности седла 6 и поясков отверстия под распределительный вал.

При капитальном ремонте ГБЦ изношенные поверхности клапана 5 и седла 6 обрабатываются до выведения следов износа, а пояски отверстия восстанавливаются осаживанием бугелей 1 и расточкой со смещением в сторону привалочной плоскости. Это значительно уменьшает ход гидроком-

пенсатора и, следовательно, межремонтный ресурс ГБЦ в целом.

Цель исследования – определение допустимой величины хода гидрокомпенсатора и теоретическое обоснование рациональных способов восстановления работоспособности элементов клапанного узла и его привода.

Для решения задач в рамках заявленной цели был применен метод анализа размерности.

Рассмотрим размерную цепь, представленную на рисунке (б), где замыкающим звеном A_0 является допустимый ход гидрокомпенсатора, при котором разгерметизация камеры сгорания не происходит. Размерной цепи принадлежат следующие звенья:



A_1 – длина клапана, принимаем $A_1 = 104,1^{+0,10}_{-0,10}$ мм²;

A_2 – толщина гидрокомпенсатора в максимально сжатом состоянии (из-за отсутствия данных определялась на новых гидрокомпенсаторах микрометрическими исследованиями), $A_2 = 16,0^{+0,05}_{-0,05}$ мм;

A_3 – радиус тыльной стороны кулачка, $A_3 = 18,5^{+0,05}_{-0,05}$ мм²;

A_4 – расстояние от торца тарелки клапана до оси отверстия под распределительный вал (определялось на новых ГБЦ микрометрическими исследованиями), $A_4 = 140,9^{+0,10}_{-0,10}$ мм.

Допустимая величина хода гидрокомпенсатора определялась методом максимума-минимума в результате решения обратной задачи. Предполагалось, что в процессе обработки или сборки возможно сочетание наибольших увеличивающих и наименьших уменьшающих размеров или обратное их сочетание. Оба случая – наихудшие в смысле получения точности замыкающего звена, но их возникновение маловероятно, поскольку отклонения размеров в основном группируются в центре поля допуска.

Расчет производился в следующей последовательности³.

1. Вычисление номинального размера замыкающего звена A_Δ :

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i A_i, \quad (1)$$

где $i = 1, 2, \dots, m$ – порядковый номер звена; ξ_i – передаточное отношение i -го звена размерной цепи; A_i – номинальный размер i -го звена размерной цепи.

2. Определение координаты середины поля допуска Δ_0 замыкающего звена:

$$\Delta_0 = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{0_i}, \quad (2)$$

где Δ_{0_i} – координата середины допуска i -го звена размерной цепи:

$$\Delta_{0_i} = \frac{\Delta_{\epsilon_i} + \Delta_{\eta_i}}{2}, \quad (3)$$

где Δ_{ϵ_i} и Δ_{η_i} – верхнее и нижнее предельное отклонение i -го звена размерной цепи соответственно.

3. Нахождение величины поля допуска T_Δ замыкающего звена при расчете методом максимума-минимума:

$$T_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| T_i, \quad (4)$$

где T_i – допуск i -го звена размерной цепи:

$$T_i = \Delta_{\epsilon_i} - \Delta_{\eta_i}. \quad (5)$$

4. Расчет предельных отклонений замыкающего звена:

$$\Delta_{\epsilon_\Delta} = \Delta_0 + \frac{T_0}{2}, \quad (6)$$

$$\Delta_{\eta_\Delta} = \Delta_0 - \frac{T_0}{2}. \quad (7)$$

Результаты исследования

Подставив числовые значения в формулы (1–7), получили следующие результаты.

1. Номинальный размер замыкающего звена:

$$A_0 = (1 \cdot 140,9) + (-1 \cdot 104,1) + (-1 \cdot 16,0) + (-1 \cdot 18,5) = 2,3 \text{ мм.}$$

2. Координаты середины полей допусков:

– составляющих звеньев:

$$\Delta_{0_1} = \frac{0,1 + 0}{2} = 0,05 \text{ мм,}$$

$$\Delta_{0_2} = \frac{0,05 + 0}{2} = 0,025 \text{ мм,}$$

² Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту. Двигатель ЗМЗ-40524.10. ОАО «Заволжский моторный завод». 2008. 85 с.

³ РД 50-635-87. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей: методические указания. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987. 43 с.

$$\Delta_{0_3} = \frac{0 - 0,05}{2} = -0,025 \text{ мм},$$
$$\Delta_{0_4} = \frac{0,1 + 0}{2} = 0,05 \text{ мм};$$

– замыкающего звена:

$$\Delta_{0_\Delta} = (-1 \cdot 0,05) + (-1 \cdot 0,025) +$$
$$+ (-1 \cdot (-0,025)) + (1 \cdot 0,05) = 0 \text{ мм}.$$

3. Допуски:

– составляющих звеньев:

$$T_1 = 0,1 - 0 = 0,1 \text{ мм},$$

$$T_2 = 0,05 - 0 = 0,05 \text{ мм},$$

$$T_3 = 0 - (-0,05) = 0,05 \text{ мм},$$

$$T_4 = 0,1 - 0 = 0,1 \text{ мм};$$

– замыкающего звена

$$T_\Delta = 0,1 + 0,05 + 0,05 + 0,1 = 0,3 \text{ мм}.$$

4. Предельные отклонения замыкающего звена:

$$\Delta_{e_i} = 0 + \frac{0,3}{2} = 0,15 \text{ мм},$$

$$\Delta_{e_0} = 0 - \frac{0,3}{2} = -0,15 \text{ мм}.$$

Из проведенных расчетов видно, что в новых ГБЦ двигателя ЗМЗ-406 допустимая величина хода гидрокомпенсатора составляет 2,3 мм с предельными отклонениями $\pm 0,15$ мм. Действительный ход гидрокомпенсатора должен находиться в пределах 2,15–2,45 мм.

Расчет был произведен при условии максимального сжатия гидрокомпенсатора, т. е. для момента разгерметизации камер сгорания в цилиндрах двигателя. Чтобы устранить данное явление и увеличить межремонтный ре-

сурс при проведении ремонтных работ, необходимо уменьшить допустимую величину смещения на 0,5 мм. Тогда при обосновании способов технологических воздействий на клапанные механизмы толщина гидрокомпенсатора в максимально сжатом состоянии: $A_2 = 16,5^{+0,05}$ мм.

Для того чтобы обосновать рациональные способы восстановления произвели расчет размерной цепи, представленной на рис. 1, б, где в качестве допусков составляющих звеньев использовались предельные значения износов поверхностей, определяемые микрометражными исследованиями головок блоков цилиндров, бывших в эксплуатации [7]: $A_1 = A_1^{из}$ – длина клапана с учетом износа торцевой поверхности, $A_1^{из} = 104_{-0,08}^{-0,02}$ мм; $A_4 = A_4^{из}$ – расстояние от торца тарелки клапана до оси отверстия под распределительный вал с учетом износов, определяется как

$$A_4^{из} = U_{кл}^{\phi} + U_{след} + U_{р/вал}^{отв},$$

где $U_{кл}^{\phi}$ – износ фаски тарелки клапана, $U_{кл}^{\phi} = 0,2\text{--}1,34$ мм; $U_{след}$ – износ рабочей поверхности седла, $U_{след} = 0,27\text{--}1,60$ мм; $U_{р/вал}^{отв}$ – радиальный износ поясков отверстия под распределительный вал, $U_{р/вал}^{отв} = 0,02\text{--}0,09$ мм.

Таким образом, $A_4^{из} = 140_{-0,48}^{-0,48}$ мм.

Износы поверхностей гидрокомпенсатора и радиуса тыльной стороны кулачка не превышают 0,01 мм. Если пренебречь данными износами, $A_2 = 16,0^{+0,05}_{-2,98}$ мм, $A_3 = 18,5_{-0,05}^{-2,98}$ мм.

Подставив числовые значения в формулы (2–7), получим следующие результаты.

1. Координаты середины полей допусков:

– составляющих звеньев:

$$\Delta_{0_1} = \frac{-0,02 + (-0,08)}{2} = -0,05 \text{ мм},$$

$$\Delta_{0_2} = \frac{0,05 + 0}{2} = 0,025 \text{ мм},$$



$$\Delta_{0_3} = \frac{0 - 0,05}{2} = -0,025 \text{ мм},$$

$$\Delta_{0_4} = \frac{-0,48 + (-2,98)}{2} = -1,73 \text{ мм};$$

– замыкающего звена:

$$\Delta_{0_\Delta} = (-1 \cdot (-0,05)) + (-1 \cdot 0,025) + (-1 \cdot (-0,025)) + (1 \cdot (-1,73)) = -1,68 \text{ мм}$$

2. Допуски:

– составляющих звеньев:

$$T_1 = -0,02 - (-0,08) = 0,06 \text{ мм},$$

$$T_2 = 0,05 - 0 = 0,05 \text{ мм},$$

$$T_3 = 0 - (-0,05) = 0,05 \text{ мм},$$

$$T_4 = -0,48 - (-2,98) = 2,50 \text{ мм};$$

– замыкающего звена:

$$T_\Delta = 0,06 + 0,05 + 0,05 + 2,50 = 2,72 \text{ мм}$$

3. Предельные отклонения замыкающего звена:

$$\Delta_{e_\Delta} = -1,68 + \frac{2,72}{2} = -0,32 \text{ мм},$$

$$\Delta_{H_\Delta} = -1,68 - \frac{2,72}{2} = -3,04 \text{ мм}.$$

Таким образом, $A_\Delta = 2,3_{-3,06}^{0,30}$ мм.

Следовательно, при наилучшей комбинации износов возможный допустимый ход гидрокомпенсатора составляет 1,98 мм, а при наихудшей – –0,74 мм, т. е. хода гидрокомпенсатора не хватает, чтобы компенсировать износы составляющих звеньев.

На основе результатов микрометрических исследований и размерного анализа было предложено несколько вариантов восстановления работоспо-

собности клапанного узла и его привода (табл. 1). За критерий выбора способа восстановления клапанных узлов головки блока цилиндров двигателя ЗМЗ-406 рекомендуется использовать величину суммарного значения прокладки клапана $A_4^{из}$.

На основе предложенного критерия было разработано 4 способа восстановления работоспособности исследуемого клапанного механизма.

Способ 1

Если суммарное значение прокладки клапана составляет 0,5–1,0 мм, а на поясках отверстий видны задиры и выровы металла глубиной до 0,5 мм, износы фаски тарелки клапана и рабочей поверхности седла правятся до выведения следов износа с припуском на 0,01–0,02 мм. При наличии задиры на поясках отверстия под распределительный вал производится осаживание бугелей с последующей расточкой и притиркой алмазными развертками.

Способ 2

Если суммарное значение прокладки клапана составляет 1,0–1,8 мм, а на поясках отверстий видны задиры и выровы металла глубиной до 1 мм, изношенное седло клапана обрабатывается до выведения следов износа с припуском 0,01–0,02 мм. Клапан, бывший в эксплуатации, меняется на новый. Задиры и выровы металла на поясках отверстий под распределительные валы восстанавливаются комбинированным методом с последующей расточкой и притиркой алмазными развертками. Комбинированный метод восстановления изношенного объема металла на поясках заключается в применении электроискровой наплавки и холодного газодинамического напыления [4–8]. В процессе механической обработки ось поясков отверстий смещается в сторону привалочной плоскости на 0,07–0,10 мм.

Таблица 1

Table 1

Результаты микрометричных исследований звеньев размерной цепи
Results of micrometer research of the dimensional chain links

Варианты дефектов / Options of defects	Просадка клапана, мм / Drodown of the valve, mm				Износ торца клапана / Wear of end face of valve, A_1^{uz}	Дефекты на по- ясках отверстий под распределительный вал / Defects in hole belts for camshaft
	Износ фаски тарелки клапана / Wear of valve bevel, $U_{кл}^ф$	Износ рабочей поверхности седла / Wear of working surface of saddle, $U_{сид}$	Износ поясков отверстия под распределительный вал / Wear of hole belts the for camshaft, $U_{р/вал}^{отв}$	Суммарное значение просадки клапана / Total value of the valve sinkage, A_4^{uz}		
1	0,19–0,44	0,27–0,56	0,02–0,03	0,48–1,03	0,02–0,03	Задир, выров металл глубиной до 0,5 мм. Вероятность появления дефекта до 8 % / Burrs, loss of metal up to 0,5 mm in depth. Probability of defect to 8 %
2	0,39–0,76	0,63–0,96	0,04–0,06	1,04–1,78	0,02–0,05	Задир, выров металл глубиной свыше 1 мм. Вероятность появления дефекта до 23 % / Burrs, loss of metal over 1 mm in depth. Probability of defect to 23 %
3	0,75–1,29	1,02–1,60	0,04–0,09	1,08–2,98	0,02–0,08	Задир, выров металл глубиной свыше 1 мм. Вероятность появления дефекта до 46 % / Burrs, loss of metal up to 1 mm in depth. Probability of defect to 46 %
4	0,76–1,34	1,02–1,60	0,03–0,04	1,08–2,98	0,02–0,08	Пояски отверстий без видимых дефектов / Hole belts without visible defects



Таблица 2
Table 2

Результаты размерного анализа способов восстановления работоспособности клапанного механизма двигателя ЗМЗ-406

Results of the dimensional analysis of the methods to restore functionality of valve mechanism of ZMZ-406 engine

Параметры / Parameters	Звенья размерной цепи / Links of a dimensional chain					Составляющие отклонения звена A_4 / Deflection of link components A_4			
	A_Δ	A_1	A_2	A_3	A_4	$U_{\text{кл}}$	$U_{\text{след}}$	$U_{\text{отср/вал}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Способ 1 / Method 1									
Числовое значение звена, мм / Numerical value of a link, mm	1,8	$104,1^{+0,04}_{-0,05}$	$16,5^{+0,05}$	$18,5^{+0,05}$	$140,9^{+0,54}_{-1,09}$				
$\Delta_{\text{от}}$	-0,770	-0,045	0,025	-0,025	-0,815	-0,21	-0,29	-0,04	
T_i	0,66	0,01	0,05	0,05	0,55	-0,46	-0,58	-0,05	
$\Delta_{\text{ед}}$			-0,44						
$\Delta_{\text{нд}}$			-1,10						
Способ 2 / Method 2									
Числовое значение звена, мм / Numerical value of a link, mm	1,8	$104,1^{+0,1}$	$16,5^{+0,05}$	$18,5^{+0,05}$	$140,9^{+0,72}_{-1,08}$	0	-0,65	-0,07	
$\Delta_{\text{от}}$	-0,950	0,050	0,025	-0,025	-0,900	-0,98		-0,10	
T_i	0,56	0,10	0,05	0,05	0,36				
$\Delta_{\text{ед}}$			-0,67						
$\Delta_{\text{нд}}$			-1,23						



Окончание табл. 2 / End of table 2

Способ 3 / Method 3							
Числовое значение звена, мм / Numerical value of a link, mm	1,8	104,1 ^{+0,1}	16,5 ^{+0,05}	18,5 ^{-0,05}	140,9 ^{-0,12} -0,15	0	-0,12 -0,15
Δ_{0i}	-0,185	0,050	0,025	-0,025	-0,135	Ход гидрокомпенсатора составляет (с учетом запаса 0,5 мм) 2,00–2,23 мм / Run of hydrocompensator is (taking into account a stock of 0,5 mm) 2,00–2,23 mm	
T_i	0,23	0,10	0,05	0,05	0,03		
$\Delta_{e\Delta}$	-0,07						
$\Delta_{n\Delta}$	-0,30						
Способ 4 / Method 4							
Числовое значение звена, мм / Numerical value of a link, mm	1,8	104,1 ^{+0,1}	16,5 ^{+0,05}	18,5 ^{-0,05}	140,9 ^{-0,04} -0,06	0	-0,04 -0,06
Δ_{0i}	-0,100	0,05	0,025	-0,025	-0,050	Ход гидрокомпенсатора составляет (с учетом запаса 0,5 мм) 2,09–2,31 мм / Run of hydrocompensator is (taking into account a stock of 0,5 mm) 2,09–2,31 mm	
T_i	0,22	0,10	0,05	0,05	0,02		
$\Delta_{e\Delta}$	+0,01						
$\Delta_{n\Delta}$	-0,21						



Способ 3

Если суммарное значение просадки клапана составляет 1,8–3,0 мм, а на поясках отверстий видны задиры и выровы металла глубиной свыше 1 мм, изношенное седло клапана и клапан меняются на новые. Пояски отверстий под распределительные валы восстанавливаются комбинированным методом с последующей расточкой и притиркой алмазными развертками. В процессе механической обработки ось поясков отверстий смещается в сторону привалочной плоскости на 0,12–0,15 мм.

Способ 4

Если суммарное значение просадки клапана составляет 1,8–3,0 мм, а на поясках отверстий отсутствуют дефекты, изношенное седло клапана и клапан меняются на новые. Бугели осаживаются с последующей расточкой и притиркой алмазными развертками. В процессе механической обработки ось поясков отверстий смещается в сторону привалочной плоскости на 0,05–0,06 мм.

Для всех предложенных способов был произведен расчет размерной цепи и определен возможный ход гидрокомпенсатора после ремонтных воздействий (табл. 2). Дополнительно для увеличения хода гидрокомпенсаторов при ремонте клапанных механизмов 1-м

и 2-м способами допускается обрабатывать торец стержня клапана максимум на 0,45–0,50 мм. При этом ход гидрокомпенсаторов составит 1,70–2,36 мм и 1,57–2,13 мм соответственно.

Из-за различного теплового нагружения впускные и выпускные клапаны просаживаются на разные величины. В этом случае на одной ГБЦ применяются различные способы восстановления работоспособности клапанного механизма.

Обсуждение и заключения

В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы.

1. Допустимая величина хода гидрокомпенсатора в клапанном механизме ГБЦ двигателя ЗМЗ-406 составляет 2,3 мм с предельными отклонениями $\pm 0,15$ мм.

2. Предложены 4 способа повышения работоспособности клапанных механизмов. В качестве критерия выбора способа ремонта рекомендуется использовать суммарное значение просадки клапана.

3. В предложенных способах повышения работоспособности клапанных механизмов ход гидрокомпенсаторов после ремонтных воздействий составляет 1,57–2,36 мм, что соответствует ходу гидрокомпенсаторов новых ГБЦ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Злотин Г. Н., Лютин К. И., Федянов Е. А. Построение и обучение нейтронно-сетевой модели виброакустического диагностирования кулачкового распределительного механизма ДВС // Известия ВолгГТУ. 2009. Т. 2, № 7 (55). С. 28–31. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=12891459>
2. Ивашенко Н. А., Новиков В. Г., Киселев С. А. Экспериментально-расчетное определение тепловых потоков в головках цилиндра дизеля типа КамАЗ-740 // Вестник БГТУ. 2004. № 4. С. 72–77. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23053704>
3. Евграфов В. А., Баяк И. И. Особенности получения покрытий Ni-P-Cu химическим способом // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2009. № 11. С. 24–25. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=13022945>
4. Новиков А. Н., Жуков В. В. Восстановление головки блока цилиндров двигателя // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2006. № 3. С. 7–8. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9196689>
5. Трелин А. А. Исследование технологических факторов, влияющих на качество ремонта головок блока цилиндров // Труды ГОСНИТИ. 2006. Т. 98. С. 62–66. URL: <http://www.gosniti.ru/forms/Trelin.doc>
6. Сенин П. В., Раков Н. В., Макейкин А. М. Технологические рекомендации по восстановлению опор распределительного вала головки блока цилиндров двигателя ЗМЗ-406 // *Energoeffektiv-Agroengineering systems of processes and machines*

ные и ресурсосберегающие технологии и системы : сб. науч. ст. междунар. науч. конф., посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ф. Х. Бурумкулова. Саранск, 2016. С. 235–239. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26276046>

7. Повышение надежности головок блока цилиндров комплексным ремонтом с применением прогрессивных методов восстановления деталей / Ф. Х. Бурумкулов [и др.] // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 111, № 2. С. 4–8. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18956287>

8. Применение электроискрового и холодного газодинамического метода нанесением металлопокрытий при ремонте блоков цилиндров / В. И. Иванов [и др.] // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2012. № 3. С. 11–15. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17529718>

9. **Сенин П. В., Раков Н. В., Макейкин А. М.** Влияние технологических режимов холодного газодинамического напыления на коэффициент использования порошкового материала // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 10. С. 55–56. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18224835>

10. Повышение ресурса агрегатов созданием на рабочих поверхностях деталей наноструктурированных покрытий / Ф. Х. Бурумкулов [и др.] // Технология металлов. 2008. № 1. С. 2–7. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9904906>

11. Investigation into the performance of the friction surfaces developed by electrospark treatment / S. A. Velichko [et al.] // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2016. Vol. 52, no 3. P. 225–232. DOI: 10.3103/S1068375516030133

12. Plasticity of electrospark / F. Kh. Burumkulov [et al.] // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2014. Vol. 50, no 2. P. 106–110. DOI: 10.3103/S1068375514020033

13. The properties of nanocomposite coatings formed on a steel 20h surface by means of electrospark processing using rodshaped electrodes of steels 65 g and sv 08 / F. Kh. Burumkulov [et al.] // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2009. No. 6 (260). P. 455–460. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=20147553>

14. Formation of the surface layer on a low-carbon steel in electrospark treatment / V. I. Ivanov [et al.] // Welding International. 2013. Vol. 27, no. 11. P. 903–906. DOI: 10.1080/09507116.2013.796643

15. **Ivanov V. I., Burumkulov F. Kh.** On electrodeposition of thick coatings of increased continuity // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2014. Vol. 50, no. 5. P. 377–383. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25553805>

16. Исследование прочности сцепления электроискровых и газодинамических покрытий / Ф. Х. Бурумкулов [и др.] // Электронная обработка материалов. 2011. Т. 47. № 2. С. 24–29. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=20175280>

Поступила 03.03.2017; принята к публикации 06.04.2017; опубликована онлайн 14.06.2017

Об авторах:

Сенин Пётр Васильевич, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор технических наук, профессор, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3400-7780>**, vice-rector-innov@adm.mrsu.ru

Раков Николай Викторович, доцент кафедры технического сервиса машин, Институт механики и энергетики, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3687-9371>**, nikolaymgu@yandex.ru

Макейкин Анатолий Михайлович, преподаватель кафедры технического сервиса машин, Институт механики и энергетики, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4629-0886>**, s.f.f@yandex.ru

Вклад соавторов: П. В. Сенин: научное руководство, анализ и доработка текста; Н. В. Раков: подготовка начального текста с последующей доработкой, анализ литературных данных; А. М. Макейкин: подготовка и первичный анализ литературных данных, верстка и редактирование текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



REFERENCES

1. Zlotin G. N., Lyutin K. I., Fedyanov Ye. A. [Construction and training of neutron-network model of vibroacoustic diagnosing of the cam distributive mechanism DVS]. *Izvestiya VolgGTU* = Bulletin VSTU. 2009; Vol. 2; 7(55):28-31. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=12891459> (In Russ.)
2. Ivashchenko N. A., Novikov V. G., Kiselev S. A. [Experimental and computational determination of heat flow in the cylinder heads of KAMAZ-740 diesel]. *Vestnik BGTU* = Bulletin BSTU. 2004; 4:72-77. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23053704> (In Russ.)
3. Yevgrafov V. A., Bayak I. I. [Features of the coatings Ni-P-Cu by chemical means]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva* = Mechanization and Electrification of Agriculture. 2009; 11:24-25. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=13022945> (In Russ.)
4. Novikov A. N., Zhukov V. V. [The restoration of the cylinder block head of the engine]. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya* = Repair. Restoration. Modernization. 2006; 3:7-8. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9196689> (In Russ.)
5. Trelin A. A. [A research of technological factors affecting the quality of repair of the cylinder block heads]. *Trudy GOSNITI* = Works of GOSNITI. 2006; 98:62-66. Available at: <http://www.gosniti.ru/forms/Trelin.doc> (In Russ.)
6. Senin P. V., Rakov N. V., Makeykin A. M. [Technological recommendations for restoring the support of the camshaft of the cylinder head of the engine block ZMZ-406]. In: *Energoeffektivnye i resursosberegayuchshiye tekhnologii i sistemy: sb. nauch. st. mezhdunar. nauch. konf., posvyachshennoy pamyati doktora tekhnicheskikh nauk, professora F. Kh. Burumkulova* = Energy-Efficient and Resource-Saving Technologies and Systems. Saransk. 2016; 235-239. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26276046> (In Russ.)
7. Burumkulov F. Kh., Senin P. V., Rakov N. V., Makeykin A. M. Increase of reliability of cylinder heads by complex repair with application of progressive methods of restoration of details. *Trudy GOSNITI* = Works of GOSNITI. 2013; 2(111):4-8. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18956287> (In Russ.)
8. Ivanov V. I., Kostyukov A. Yu., Denisov V. A., Rakov N. V., Potapov A. V. [The use of electrospark and cold gas-dynamic method of applying the metal coatings in the repair of cylinder blocks]. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya* = Repair. Restoration. Modernization. 2012; 3:11-15. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17529718> (In Russ.)
9. Senin P. V., Rakov N. V., Makeykin A. M. Impact of cold gas-dynamic spraying operating modes on the coefficient of utilization of powder stuff. *Traktory i selkhoz mashiny* = Tractors and Agricultural Machinery. 2012; 10:55-56. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18224835> (In Russ.)
10. Burumkulov F. Kh., Velichko S. A., Davydkin A. M., Ivanov V. I., Ionov P. A., Rakov N. V. [Improvement in service life of units by means of creating the nanostructured coatings on the working surfaces of parts]. *Tekhnologiya metallov* = Technology of Metals. 2008; 1:2-7. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=9904906> (In Russ.)
11. Velichko S. A., Senin P. V., Martynov A. V., Ivanov V. I. Investigation into the performance of the friction surfaces developed by electrospark treatment. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2016; 3(52):225-232. DOI: 10.3103/S1068375516030133
12. Burumkulov F. Kh., Ivanov V. I., Velichko S. A., Denisov V. A. Plasticity of electrospark. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2014; 2(50):106-110. DOI: 10.3103/S1068375514020033
13. Burumkulov F. Kh., Senin P. V., Velichko S. A., Ivanov V. I., Ionov P. A., Okin M. A. The properties of nanocomposite coatings formed on a steel 20h surface by means of electrospark processing using rodshaped electrodes of steels 65 g and sv 08. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2009; 6(260):455-460. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=20147553>
14. Ivanov V. I., Panin Y. S., Konevtsov L. A., Burumkulov F. Kh., Verkhoturov A. D., Gordiyenko P. S. Formation of the surface layer on a low-carbon steel in electrospark treatment. *Welding International*. 2013; 11(27):903-906. DOI: 10.1080/09507116.2013.796643



15. Ivanov V. I., Burumkulov F. Kh. On electrodeposition of thick coatings of increased continuity. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2014; 50(5):377-383. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25553805>

16. Burumkulov F. Kh., Denisov V. A., Kostyukov A. Yu., Ivanov V. I., Zadorozhniy R. N., Potapov A. V. Strength of electric spark and the gas dynamic coatings. *Elektronnaya obrabotka materialov* = Electronic Material Processing. 2011; 2(47):24-29. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=20175280> (In Russ.)

Submitted 03.03.2017; revised 06.04.2017; published online 14.06.2017

About the authors:

Petr V. Senin, Vice-Rector for Science, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Dr.Sci. (Engineering), professor. **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3400-7780>**, vice-rector-innov@adm.mrsu.ru.

Nikolay V. Rakov, Associate Professor of Technical Service Machines Chair, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3687-9371>**, nikolaymgu@yandex.ru.

Anatoliy M. Makeykin, Lecturer of Technical Service Machines Chair, Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4629-0886>**, s.f.f@yandex.ru.

Contribution of the co-authors: P. Senin: scientific supervision, analysis and revision of the draft; N. Rakov: writing the draft, reviewing and analyzing the literature; A. Makeykin: analyzing the literature, writing the final text.

All authors have read and approved the final version of the manuscript.