

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИАГНОСТИКИ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ МЕТОДОМ ПНЕВМОТЕСТИРОВАНИЯ

IMPROVING DIAGNOSTICS OF THE CYLINDER-PISTON GROUP BY PNEUMATIC TESTING

К.Е. ГРУНИН

Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Россия, konst.grunin2010@yandex.ru

K.E. GRUNIN

Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University, Knyaginino, Russia, konst.grunin2010@yandex.ru

Задачей исследования является определение возникающих неплотностей при подаче сжатого воздуха в надпоршневое пространство под давлениями 4, 5 и 6 кгс/см², соответственно.

Для получения более достоверных результатов замеры неплотности надпоршневого пространства путем пневмотестирования должны производиться трехкратно, а оценивать изношенность данного трибосопряжения следует по средним значениям полученных величин. Для того чтобы выявить аналитические зависимости между показаниями пневмотестера и различными видами неисправностей цилиндра необходимо, в процессе проведения эксперимента, смоделировать наиболее часто встречающиеся при рядовой эксплуатации двигателя неисправности, которые влияют на герметичность камеры сгорания.

Запланированные экспериментальные исследования проводились в четком соответствии с поставленными задачами и включали три этапа. Первый этап включал сбор и анализ статистических данных по зависимости показаний пневмотестирования двигателей от различных типов неисправностей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) при рядовой эксплуатации, а также пневмотестирование цилиндров двигателей, идущих в капитальный ремонт, и микрометраж их ЦПГ. На втором этапе проводился эксперимент по моделированию неисправностей на изготовленной экспериментальной установке и на рабочем двигателе, а также определение влияния на показания пневмотестера соотношения неплотностей в сопряжении «поршень – кольцо – гильза». Третий этап включал обработку статистических данных, обработку данных полученных непосредственно во время проведения эксперимента с введенными неисправностями ЦПГ и обработку данных, полученных при определении влияния на показания пневмотестера соотношения неплотностей в сопряжении «поршень – кольцо – гильза».

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, цилиндропоршневая группа, пневмотестер.

Для цитирования: Грунин К.Е. Совершенствование диагностики цилиндропоршневой группы методом пневмотестирования // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 4. С. 13–21. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-4-13-21.

The task of author's research was to determine the emerging leaks when compressed air is supplied to the above-piston space under pressure of 4, 5 and 6 kgf / cm², respectively.

To obtain more reliable results, measurements of the leakage of the above-piston space by pneumatic testing should be performed three times. The deterioration of this tribo-coupling should be assessed by the average values of the obtained values. In order to identify the analytical relationships between the readings of the pneumotester and various types of cylinder malfunctions, it is necessary, to simulate during the experiment the malfunctions most often encountered during ordinary engine operation that affect the tightness of the combustion chamber.

The planned experimental studies were carried out in strict accordance with the tasks and included three stages.

The first stage included the collection and analysis of statistical data on the dependence of engine pneumatic testing indications on various types of cylinder-piston group (CPG) malfunctions during ordinary operation, as well as pneumatic testing of engine cylinders undergoing major repairs and their CPG micrometer size. At the second stage, an experiment to simulate malfunctions on an experimental setup and on a working engine, as well as to determine the influence on the readings of the pneumatic tester of the ratio of leaks in the "piston – ring – sleeve" interface was carried out. The third stage included the processing of statistical data, processing of the data obtained directly during the experiment with the introduced CPG malfunctions and the processing of the data obtained when determining the influence of the leakage ratio in the "piston – ring – sleeve" interface on the readings of the pneumatic tester.

Keywords: internal combustion engine, cylinder-piston group, pneumotester.

Cite as: K.E. Grunin Improving diagnostics of the cylinder-piston group by pneumatic testing. Traktory i sel'khoz-mashiny. 2021. No 4, pp. 13–21 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-4-13-21.

Введение

Главнейшей проблемой АПК Российской Федерации является то, что ежегодно сельскохозяйственными предприятиями страны тратится до 50 млн рублей бюджета на поддержание в работоспособном состоянии изношенной техники со сроком службы более 20 лет, процент износа которой составляет до 70 %. Такие затраты составляют значительную часть всего валового продукта сельского хозяйства.

Актуальность разработки нового метода оценки состояния цилиндропоршневой группы (ЦПГ) обусловлена тем, что по статистике основной причиной постановки двигателя на ремонт является состояние его ЦПГ и ее отказы [9, 10]. В качестве этого метода и предлагается разработка дефференцированной методики оценки состояния гильз методом пневмотестирования.

Метод пневмотестирования был разработан еще в конце XX века, и в последствии на его основе были созданы различные приборы для оценки состояния ЦПГ. В целом с момента разработки данная методика хорошо зарекомендовала себя, и была накоплена большая статистическая база; однако до сих пор не существует методики, по которой можно было бы с точностью судить о величине износа гильзы цилиндра, не используя другие способы диагностики [1, 4, 5].

Пневматические способы в какой-то мере имитируют условия работы двигателя, так как производится уплотнение рабочего надпоршневого пространства. Однако в существующих исследованиях по пневматическому диагностированию ЦПГ видно, что данные методы дают лишь обобщенную оценку состояния узла, не указывая на конкретные неисправности, величину износа, и, зачастую, не дают информации о необходимости капитального ремонта [6–8].

Из пневматических методов диагностирования наибольший интерес представляет метод пневмотестирования. Однако исследования этого метода не раскрывают теоретических закономерностей фиксируемых им параметров. Все это стимулирует поиск путей совершенствования диагностирования ЦПГ ДВС данным методом.

Цель исследований

Нахождение зависимостей между износом гильзы ДВС и показаниями пневмотестатора

для упрощения безразборной диагностики ЦПГ.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования по определению соотношения неплотностей сопряжения «гильза – кольцо – поршень» при пневмотестировании были выбраны комплекты ЦПГ двигателей ЗМЗ-53 и КАМАЗ 720, взятые из рядовой эксплуатации.

Данные комплекты принадлежали двигателям, поступившим в ремонт и по результатам дефектации признанным негодными к эксплуатации.

Для исследования были отобраны несколько комплектов, имеющих различные характер и степень износа.

Исследование по определению соотношения неплотностей сопряжения «гильза – кольцо – поршень» при пневмотестировании проводилось с помощью пневмотестатора, изготовленного на кафедре «Технические и биологические системы» ГОУ ВО НГИЭУ (рис. 1).

Воздух под давлением, создаваемым компрессором, подается под давлением в регулятор, с помощью которого устанавливается заданное рабочее давление $P_{\text{раб}}$; оно поддерживается во время проведения эксперимента. Затем воздух попадает в надпоршневое пространство, где его давление будет зависеть от величины утечек через сопряжение «поршень – цилиндр – гильза». $P_{\text{изм}}$ определяется измерительным манометром; и чем больше величина утечек воздуха, тем оно будет меньше. Для контроля рабочего и измерительного давления применены манометры классов точности 3 и 5 соответственно.

Для продувки выбранных комплектов ЦПГ используется специально изготовленное устройство, представленное на рис. 2.

Устройство состоит из двух крышек, между которыми устанавливается проверяемый комплект ЦПГ. Крышки стягиваются четырьмя шпильками, зажимая гильзу. Для предотвращения утечек воздуха из надпоршневого пространства между гильзой и верхней крышкой устанавливается прокладка. Для проверки неплотностей ЦПГ поршень устанавливается в пяти различных положениях: ВМТ, при повороте коленвала на 45°, 90°, 135° и в НМТ. Фиксация поршня осуществляется специальным фланцем, устанавливаемым в нижнюю головку шатуна.

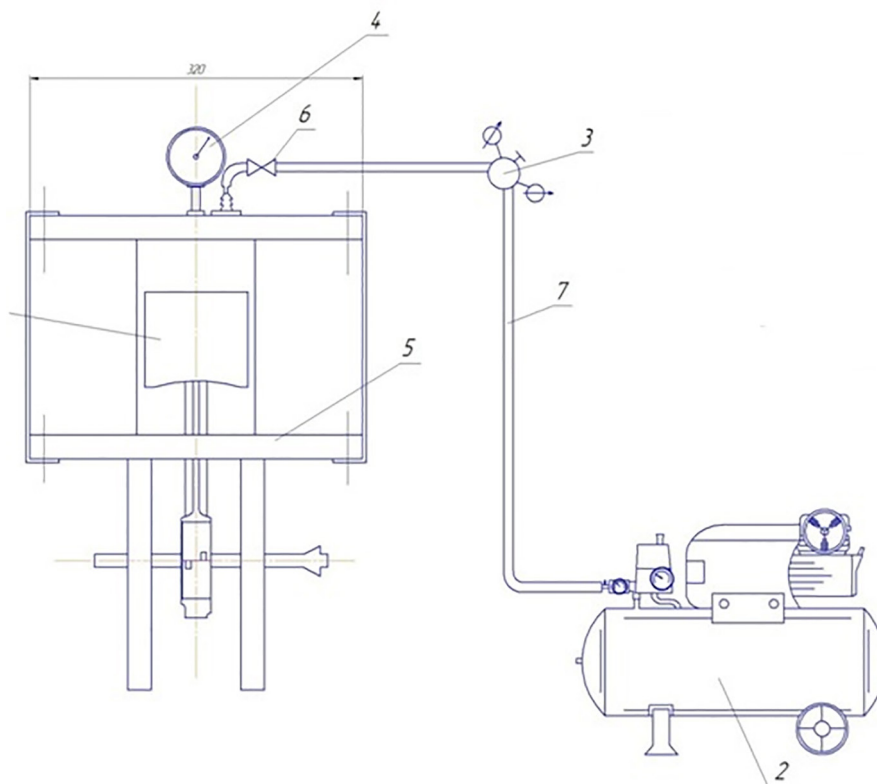


Рис. 1. Схема устройства:

1 – ЦПГ; 2 – компрессор; 3 – редуктор; 4 – манометр; 5 – анализатор герметичности цилиндров;
6 – кран; 7 – шланг

*Fig. 1. Diagram of the device: 1 – CPG; 2 – compressor; 3 – reducer; 4 – pressure gauge;
5 – cylinder tightness analyzer; 6 – tap; 7 – hose*



Рис. 2. Устройство в сборе

Fig. 2. Assembled device

Пневматическая характеристика снимается в пяти точках, соответствующих повороту коленчатого вала ДВС на угол 45° , 90° , 135° , а также в ВМТ и НМТ.

Дополнительно проводятся измерения неплотностей при различных положениях поршневых колец:

1) замки колец разведены на 180° относительно друг друга перпендикулярно оси поршневого пальца;

2) замки колец располагаются по одной оси;

3) замки колец располагаются случайным образом.

По этой же методике фиксируется величина неплотности у всех комплектов ЦПГ.

Для того чтобы выявить аналитические зависимости между показаниями пневмотестора и различными видами неисправностей цилиндра, необходимо в процессе проведения эксперимента смоделировать наиболее часто встречающиеся при рядовой эксплуатации двигателя неисправности, которые влияют на герметичность камеры сгорания.

Общеизвестно, что наиболее часто встречающимися неисправностями такого типа являются:

- сильный износ гильзы цилиндра;
- закоксовывание компрессионных колец;
- заклинивание компрессионных колец;
- поломка компрессионных колец;
- нарушение герметичности клапанного механизма;

– различные неисправности маслосъемных колец.

Перед проведением эксперимента было проведено микрометричное исследование ЦПГ выбранного двигателя и замерены исходные значения компрессии. Микрометрические замеры износа гильз ДВС проводились при различных положениях коленчатого вала, а именно: в ВМТ, НМТ и углах поворота 45°, 90°, 135°. Данные измерения были проведены в четырех плоскостях: пальца, качания шатуна и со смещением на угол 45° от них.

Чтобы определить зависимость между показаниями пневмотестера и параметрами предельно изношенной гильзы, заменили одну из гильз на изношенную.

Чтобы смоделировать отказы, связанные с заклиниванием колец, вручную заклинили компрессионные кольца путем их вклеивания в канавку с одной стороны от замка по схеме, приведенной на рис. 3.

Для моделирования поломки колец, удалили их. Чтобы симитировать неплотности клапанного механизма ГРМ, перемещали регулировочный винт коромысла. Зависимость величины подъема впускного клапана от пло-

щади проходного сечения изменяется по следующему закону [2, 3, 11]:

$$h_{\text{кл}} = \frac{f_{\text{кл}}}{\pi(d_2 \cos \alpha + h_{\text{кл}} \sin \alpha \cos^2 \alpha)},$$

где $h_{\text{кл}}$ – высота подъема клапана, мм; $f_{\text{кл}}$ – площадь проходного сечения клапана, мм²; d_2 – диаметр горловины клапана, мм; α – угол наклона фаски клапана, град.

По результатам расчета был построен график зависимости величины подъема впускного клапана от площади проходного сечения (рис. 4).

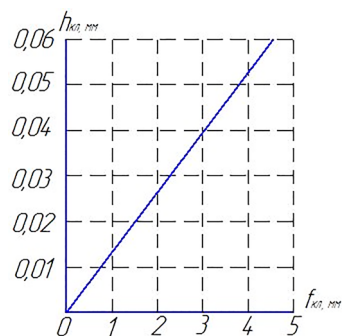


Рис. 4. График зависимости величины подъема впускного клапана от площади проходного сечения

Fig. 4. The graph of the dependence of the amount of lift of the intake valve on the flow area

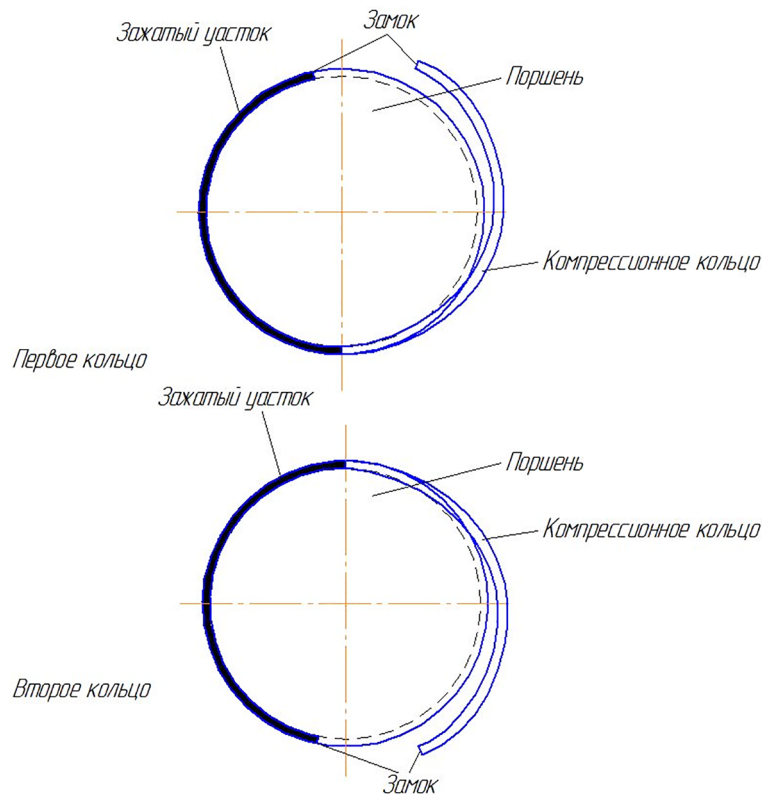


Рис. 3. Схема защемления колец

Fig. 3. Ring pinching scheme

Согласно данному графику подберем величину необходимого перемещения клапана для обеспечения нужной неплотности. Перемещение же клапана обеспечим простым ввертыванием регулировочного винта коромысла механизма газораспределения двигателя.

Результаты и обсуждение

Провели замер показателей пневмотестом. В цилиндры в обоих случаях подавался сжатый воздух под давлением 6 кг/см².

Результаты замеров представлены в таблицах 1 и 2. Под номером 1 в таблицах показаны результаты для изношенной гильзы с работающими компрессионными кольцами, под номером 2 – с введенной неисправностью в виде закоксовки компрессионных колец, под номером 3 – с введенной неисправностью в виде поломки колец, под номером 4 – с введенной неисправностью в виде поломки маслосъемных колец.

Помимо рассмотренных неисправностей, в рядовой эксплуатации двигателей иногда наблюдается так называемый насосный эффект колец, когда масло поступает в надпоршневое пространство ДВС. Также попадание масла может происходить из-за износа направляющих втулок клапанов ГРМ и негерметичности сальников вала турбокомпрессора.

Для имитации и моделирования попадания масла в надпоршневое пространство в гильзу было добавлено моторное масло в размере 25 мг, предварительно подогретое до рабочей температуры.

Соответственно проведя продувку гильзы с данной введенной неисправностью, получили показания прибора.

Эксперимент по введению неисправностей показал, что при увеличении овальности и конусности изношенной гильзы двигателя КАМАЗ 740 показания пневмотестора снижаются с 4,2 до 3,4 кг/см², при закоксовке колец – с 3,5 до 3 кг/см², а при поломке их – с 2 до 1,5 кг/см². Для гильзы двигателя ЗМЗ-53 показания пневмотестора снижаются с 3,7 до 3,4 кг/см², при закоксовке колец – с 3,3 до 3 кг/см², а при их поломке – с 1,8 до 1,35 кг/см².

Так же подтвердилось влияние избыточного количества масла в надпоршневом пространстве на увеличение показаний пневмотестора. Исходя из данных таблиц 3 и 4, видно, что они увеличилась для двигателя КАМАЗ с 4,5 до 4 кг/см², и для двигателя ЗМЗ-53 – с 4,2 до 3,9 кг/см².

Помимо описанных выше неисправностей, также моделировалась величина неплотности клапана ГРМ путем увеличения величины его открытия на $h_{кл.}$

Таблица 1

Результаты замеров показателей гильзы КАМАЗ 740

Table 1. The results of measurements of the indicators of the KAMAZ 740 sleeve

Положение КШМ, град. поворота коленвала	Показания манометра пневмотестора, кг/см ²			
	1	2	3	4
ВМТ 0°	3,4	3	1,5	3,4
45°	3,7	3,1	1,7	3,7
90°	3,8	3,2	1,8	3,8
135°	4	3,3	1,9	4
НМТ 180°	4,2	3,5	2	4,2

Таблица 2

Результаты замеров показателей гильзы ЗМЗ-53

Table 2. The results of measurements of the indicators of the ZMZ-53 sleeve

Положение КШМ, град. поворота коленвала	Показания манометра пневмотестора, кг/см ²			
	1	2	3	4
ВМТ 0°	3,9	3	1,5	3,9
4°	3,8	3,1	1,7	3,8
90°	3,65	3,2	1,8	3,65
135°	3,55	3,3	1,9	3,55
НМТ 180°	3,5	3,5	2	3,5

Таблица 3

Результат эксперимента с попаданием масла в надпоршневое пространство гильзы КАМАЗ 740

Table 3. The result of the experiment with oil getting into the above-piston space of the KAMAZ 740 sleeve

Положение КШМ, град. поворота коленвала	Показания манометра пневмотестора, кг/см ²
ВМТ 0°	4
45°	4,1
90°	4,2
135°	4,3
НМТ 180°	4,5

Таблица 4

Результат эксперимента с попаданием масла в надпоршневое пространство гильзы ЗМЗ-53

Table 4. The result of the experiment with oil getting into the above-piston space of the ZMZ-53 sleeve

Положение КШМ, град. поворота коленвала	Показания манометра пневмотестора, кг/см ²
ВМТ 0°	3,9
45°	4
90°	4
135°	4,1
НМТ 180°	4,2

Для этого исследуемые гильзы устанавливались на двигатели, имеющие рабочие головки блока цилиндров.

Согласно исследованиям величина неплотности клапана в процессе рядовой эксплуатации изменяется от 0 до 4 мм². Но, как известно повреждения и прогар увеличивают эту величину гораздо больше.

Величину перемещения клапана задавали в соответствии с зависимостью, представленной на рис. 4. Полученные данные по неплотностям клапанов указаны в таблицах 5 и 6.

Проведя эксперимент, видим, что при неплотности клапана в размере 3 мм² величина

показаний пневмотестора практически никак не отличается от ее же величины при износе колец, следовательно при таких малых значениях неплотности данным диагностическим методом распознать прогар клапана на данной стадии практически невозможно без применения других способов диагностирования.

Также установлено что при увеличении неплотности клапана с 10 до 20 мм² показания прибора резко снижаются, вплоть до нуля.

В соответствии с методикой исследования продувке с помощью собранной установки были подвергнуты гильзы КАМАЗ 740 и ЗМЗ-53.

Таблица 5

Показания по двигателю КАМАЗ 740

Table 5. Indications for the KAMAZ 740 engine

Величина неплотности клапана, мм ²	Показания пневмотестора, кг/см ²
3	4,2
10	1,9
20	0

Таблица 6

Показания по двигателю ЗМЗ-53

Table 6. Indications for the ZMZ-53 engine

Величина неплотности клапана, мм ²	Показания пневмотестора, кг/см ²
3	3,7
10	1,7
20	0

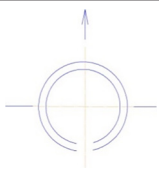
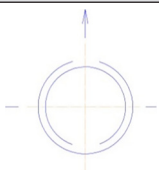
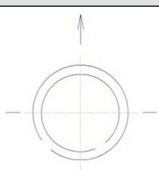
С целью получения более достоверных данных по зависимости показаний пневмотестатора от износа гильзы двигателя эксперимент

проводился на специально изготовленной лабораторной установке. Результаты эксперимента представлены в таблицах 7 и 8.

Показания прибора в гильзе КАМАЗ 720

Таблица 7

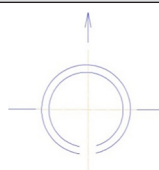
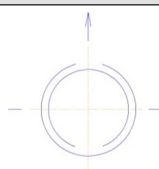
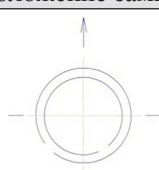
Table 7. Instrument readings in the KAMAZ 720 sleeve

Положение КШМ	Показания прибора			Положение замков
	$6 \cdot 10^5$ МПа	$5 \cdot 10^5$ МПа	$4 \cdot 10^5$ МПа	
0° (ВМТ)	3,1	2	1,7	
45°	3,5	2,1	1,7	
90°	3,6	2,4	2	
135°	3,8	2,6	2,1	
180° (НМТ)	3,9	2,8	2,3	
Положение КШМ	Показания прибора			Положение замков
	$6 \cdot 10^5$ МПа	$5 \cdot 10^5$ МПа	$4 \cdot 10^5$ МПа	
0° (ВМТ)	3,4	2,8	1,9	
45°	3,6	2,9	1,9	
90°	3,7	3	2	
135°	4,1	3,5	2,5	
180° (НМТ)	4,3	3,6	2,7	
Положение КШМ	Показания прибора			Положение замков
	$6 \cdot 10^5$ МПа	$5 \cdot 10^5$ МПа	$4 \cdot 10^5$ МПа	
0° (ВМТ)	3,4	2,7	1,9	
45°	3,7	2,8	2,2	
90°	3,8	3	2,3	
135°	4	3,5	2,6	
180° (НМТ)	4,2	3,6	2,7	

Показания прибора в гильзе ЗМЗ-53

Таблица 8

Table 8. Instrument readings in the ZMZ-53 sleeve

Положение КШМ	Показания прибора			Положение замков
	$6 \cdot 10^5$ МПа	$5 \cdot 10^5$ МПа	$4 \cdot 10^5$ МПа	
0° (ВМТ)	3,8	2,9	2,2	
45°	3,7	2,7	2,1	
90°	3,6	2,6	2	
135°	3,55	2,55	1,8	
180° (НМТ)	3,5	2,5	1,6	
Положение КШМ	Показания прибора			Положение замков
	$6 \cdot 10^5$ МПа	$5 \cdot 10^5$ МПа	$4 \cdot 10^5$ МПа	
0° (ВМТ)	4	3,5	2,7	
45°	3,9	3,1	2,6	
90°	3,7	2,8	2,4	
135°	3,6	2,6	2,2	
180° (НМТ)	3,55	2,55	2,1	
Положение КШМ	Показания прибора			Положение замков
	$6 \cdot 10^5$ МПа	$5 \cdot 10^5$ МПа	$4 \cdot 10^5$ МПа	
0° (ВМТ)	3,9	3,4	2,5	
45°	3,8	3,1	2,4	
90°	3,65	2,7	2,2	
135°	3,55	2,5	2	
180° (НМТ)	3,5	2,5	1,8	

Вывод

Согласно полученным данным, зависимость показаний пневмотестера $P_{ц}$ от величины износа гильзы И аппроксимируется следующими выражениями:

– для плоскости качения шатуна при рабочем давлении 6 кг/см²:

$$И = \frac{12,5 - P_{ц}}{21};$$

– для плоскости качения шатуна при рабочем давлении 5 кг/см²:

$$И = \frac{23 - P_{ц}}{48};$$

– для плоскости качения шатуна при рабочем давлении 4 кг/см²:

$$И = \frac{17,3 - P_{ц}}{36};$$

– для плоскости поршневого пальца при рабочем давлении 6 кг/см²:

$$И = \frac{12,3 - P_{ц}}{21};$$

– для плоскости поршневого пальца при рабочем давлении 5 кг/см²:

$$И = \frac{22,5 - P_{ц}}{48};$$

– для плоскости поршневого пальца при рабочем давлении 4 кг/см²:

$$И = \frac{17 - P_{ц}}{36}.$$

Литература

1. Вельских В.И. Диагностика технического состояния и регулировка тракторов. М.: Колос, 1973. 494 с.
2. Гинцбург Б.Я. Теория и расчет поршневых колец. М.: Mashgiz, 1945. 365 с.
3. Гинцбург Б.Я. Теория поршневого кольца. М.: Машиностроение, 1979. 425 с.
4. Карагодин В.И., Шестопапов С.К. Устройство и техническое обслуживание грузовых автомобилей. М.: Транспорт, 1994. 329 с.
5. Карпов Л.И. Диагностика и техническое обслуживание тракторов и комбайнов. М.: Колос, 1972. 320 с.
6. Раевский М.А., Обметица В.П. Справочник по ремонту и обслуживанию автомобилей ВАЗ.

Оборудование и инструмент. Киев: Вища школа, 1991. 401 с.

7. Сазонов К.А. Пневматический способ диагностики ЦПГ ДВС при малых рабочих давлениях // Вестник ЧГАУ. 1994. Т. 8. С. 54–57.
8. Хитрюк В.А., Баранов Л.Ф. Справочник по ремонту автотракторных двигателей. Минск: Ураджай, 1992. 273 с.
9. Черноиванов В.И., Северный А.Э., Халфин М.А., Халфин С.М., Орлик Л.С., Сидыганов Ю.Н. Ресурсосбережение при технической эксплуатации сельскохозяйственной техники. М.: ГОСНИТИ – ФГНУ «Росинформагротех». Ч. 1, 2. 2002. 780 с.
10. Черноиванов В.И., Бледных В.В., Северный А.Э. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: учебное пособие. Москва – Челябинск: ГОСНИТИ, ЧГАУ, 2003. 992 с.
11. Шульц В.В. Форма естественного износа деталей машин и инструмента. Л.: Машиностроение, 1990. 377 с.

Reference

1. Vel'skikh V.I. Diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya i regulirovka traktorov [Diagnostics of the technical condition and adjustment of tractors]. Moscow: Kolos Publ., 1973. 494 p.
2. Gintzburg B.YA. Teoriya i raschet porshnevyykh kolets [Theory and calculation of piston rings]. Moscow: Mashgiz Publ., 1945. 365 p.
3. Gintzburg B.YA. Teoriya porshneвого kol'tsa [Piston ring theory]. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1979. 425 p.
4. Karagodin V.I., Shestopalov S.K. Ustroystvo i tekhnicheskoye obsluzhivaniye gruzovykh avtomobiley [Construction and maintenance of trucks]. Moscow: Transport Publ., 1994. 329 p.
5. Karpov L.I. Diagnostika i tekhnicheskoye obsluzhivaniye traktorov i kombaynov [Diagnostics and maintenance of tractors and combines]. Moscow: Kolos Publ., 1972. 320 p.
6. Rayevskiy M.A., Obmetitsa V.P. Spravochnik po remontu i obsluzhivaniyu avtomobiley VAZ. Oborudovaniye i instrument [Reference book on the repair and maintenance of VAZ automobiles. Equipment and tools]. Kiyev: Vishcha shkola Publ., 1991. 401 p.
7. Sazonov K.A. Pneumatic method for diagnosing the internal combustion engine's CPG at low operating pressures. Vestnik CHGAU. 1994. V. 8, pp. 54–57 (in Russ.).

8. Khitryuk V.A., Baranov L.F. Spravochnik po remontu avtotraktornykh dvigateley [Handbook for the repair of automobile and tractor engines]. Minsk: Urzhay Publ., 1992. 273 p.
9. Chernoi vanov V.I., Severnyy A.E., Khalfin M.A., Khalfin S.M., Orsik L.S., Sidy ganov YU.N. Resursobere zheniye pri tekhnicheskoy ekspluatatsii sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Resource saving in the operation of agricultural machinery]. Moscow: GOSNITI – FGNU «Rosin-formagroteKH». CH. 1, 2. 2002. 780 p.
10. Chernoi vanov V.I., Blednykh V.V., Severnyy A.E. Tekhnicheskoye obsluzhivaniye i remont mashin v sel'skom khozyaystve [Maintenance and repair of machinery in agriculture]: Uchebnoye posobiye. Moscow – Chelyabinsk: GOSNITI, CHGAU Publ., 2003. 992 p.
11. Shul'ts V.V. Forma yestestvennogo iznosa detaley mashin i instrumenta [The form of natural wear and tear of machine parts and tools]. Leningrad: Mashinostroyeniye Publ., 1990. 377 p.