УДК 629.033
https://doi.org/10.56619/2078-7138-2026-177-5-27-33

# АНАЛИЗ КОМПЛЕКСА ПРИЕМОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РЕСУРСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**В.Е. Тарасенко,**
*зав. каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**А.В. Дунаев,**
*докт. техн. наук, ст. науч. сотр.*

**В.И. Березун,**
*руководитель отраслевой лаборатории ОАО «УКХ «ММЗ», канд. техн. наук, доцент*

***Представлены результаты анализа этапов, методов и применяемого диагностического оборудования при определении ресурсных показателей цилиндропоршневой группы автотракторных двигателей. В большей степени раскрыты особенности способа определения расхода газов, прорывающихся в картерное пространство. Приведено описание известных современных зарубежных расходомеров преимущественно вихревого типа, доступных к применению. Установлены технические сложности при использовании известных расходомеров и индикаторов расхода картерных газов, сформирован перечень факторов, оказывающих существенное влияние на результаты замеров. Приведены математические зависимости для определения расхода картерных газов с краткими выводами о их применимости. Предложены – комплексный контроль состояния двигателей по наработке с использованием наиболее простых и эффективных диагностических приборов и способ определения остаточного ресурса цилиндропоршневой группы автотракторного двигателя.***

***Ключевые слова: двигатель, контроль, газы, расходомер, индикатор, пъезометр, давление, масло.***

***The paper presents the analysis results of the stages, methods, and diagnostic equipment used to determine the service life indicators of the cylinder-piston group in automotive and tractor engines. It focuses particularly on the specifics of measuring the flow rate of gases leaking into the crankcase. Descriptions of available modern foreign flow meters predominantly of the vortex type are provided. Technical challenges associated with using existing crankcase gas flow meters and indicators are identified, and a list of factors significantly influencing measurement results is compiled. Mathematical relationships for determining crankcase gas flow rates are presented with brief conclusions regarding their applicability. A comprehensive method for monitoring engine condition based on operating time using the simplest and most effective diagnostic instruments is proposed, along with a method for determining the residual service life of the cylinder-piston group in automotive and tractor engines.***

***Keywords: engine, monitoring, gases, flow meter, indicator, piezometer, pressure, oil.***

## Введение

Общее понимание проблемы определения технического состояния автотракторной техники сводится к тому, что существующие технологии диагностирования (при ЕТО, ТО-1, ТО-2, ТО-3) имеют набор определенных диагностических проверок, хотя и отличающихся количеством, т.е. глубиной диагностирования, но все же общим охватом объекта контроля и даже определением его остаточного ресурса (отдельно двигателей внутреннего сгорания (ДВС) или машины в целом). При этом контроль цилиндропоршневой группы (ЦПГ) определяет целесообразность текущего ремонта ДВС.

К настоящему времени накоплен достаточно большой опыт диагностирования ЦПГ автотракторных двигателей, разработано множество диагностических устройств и приборов (компрессометров, вакуум-анализаторов, газовых расходомеров, индикаторов расхода газов и пр.) [1-13]. При этом метод оценки состояния ЦПГ по расходу картерных газов (КГ) с учетом недостаточной точности, обусловленной влиянием утечек газов через сальниковые уплотнения и другими сложностями получения объективных данных [5], в целом достаточно информативен, позволяет выявлять ранний износ деталей и делать заключение о ресурсных показателях ЦПГ. Подтверждением этому является использование за рубежом современных расходомеров КГ, преимущественно вихревых (линейные расходомеры VF563 с портативным дисплеем компании Applied Measurements (Англия) [14], расходомеры AVL BLOW BY METER 442H компании AVL

List GmbH (Австрия) [17] и другие). Проведенные ранее сравнительные испытания ЦелинГОСНИТИ (с использованием анемометра, ротаметра) ряда индикаторов расхода газов на тракторном дизеле и на поверочной расходомерной установке позволили разработать подробную диагностическую карту диагностирования ЦПГ дизелей [4; 7]. Содержательный материал по контролю количества газов, прорывающихся в картер, с указанием недостатков наиболее распространенных индикаторов изложен в книгах известного диагноста Бельских В.И. [2; 13].

Значительный вклад в изучение и практическое применение методов диагностирования ЦПГ автотракторных двигателей внесли Н.С. Ждановский, И.П. Терских, В.И. Бельских, В.А. Чечет, И.А. Коровянский, И.Г. Дынга, А.В. Дунаев, А.И. Колчин и другие. Ими разработаны практические рекомендации, успешно реализованные на практике.

Целью настоящей работы является анализ этапов, комплекса приемов и оборудования, применяемого при определении ресурсных показателей ЦПГ автотракторных двигателей, и разработка способа определения остаточного ресурса цилиндропоршневой группы, учитывающего наиболее значимые ресурсные диагностические параметры двигателя.

**Основная часть**

Одними из первых отечественных массовых моделей пневмокалибраторов (пневмотестеров), осуществляющих измерение относительной утечки воздуха из цилиндра двигателя, следует считать приборы К69, К69М и К272 (К272) конструкции научно-исследовательского института автомобильного транспорта (НИИАТ), которые выпускал Новгородский завод ГАРО. В то время производился расходомер КГ постоянного перепада давления КИ-4887-II-ГОСНИТИ конструкции Дынги И.Г. [1], при использовании которого возникали некоторые трудности: необходимо было иметь тяжелую стационарную компрессорно-вакуумную установку, которая монтировалась на передвижной платформе КИ-4270-ГОСНИТИ, а также на втором диапазоне прибора наблюдалась высокая погрешность измерения. Позднее Никитиным В.А. был разработан индикатор расхода газов КИ-13671-ГОСНИТИ с приведенной погрешностью 5 %, который нашел широкое применение на практике, в результате было выпущено более 30 тыс. ед. данного индикатора.

Ивановым Н.Т. и Чечетом В.А. предложены вакуумный метод и средства диагностирования ЦПГ автотракторных двигателей [7; 10]. Особенностью этого метода является необходимость снятия топливных форсунок, выполнение нескольких запусков ДВС, на что инженерная служба предприятий зачастую не соглашается.

Коровянский И.А. [6] с помощью осциллографа и датчика пульсаций давления с электрическим выходом исследовал характер импульсов давления газов в картерном пространстве с привязкой их к ВМТ 1-го цилиндра, определял по выделяющимся импульсам неисправный цилиндр. Реализованный таким датчиком метод при условии проведения некоторой адаптации к современным измерительным устройствам весьма перспективен и в настоящее время.

Николаев Е.В. в своей работе [9] рассмотрел контроль расхода КГ в режиме свободного разгона коленчатого вала двигателя. В корреляционную зависимость расхода КГ им включен зазор в сопряжении гильза – поршень, наработка ДВС, температура охлаждающей жидкости, крутящий момент на валу коленчатого вала и наработка моторного масла. Однако для диагностирования ЦПГ, как тщательно установлено исследованиями, необходим нормальный установившийся тепловой режим холостого хода ДВС, а влияние крутящего момента несущественно. Лучше контролировать КГ при температуре, с которой чаще всего работает ДВС и для сопоставимости результатов разных этапов контроля – при одинаковой температуре. При использовании значений наработки моторного масла без каких-либо показателей его физико-химических свойств достичь точных значений искомых параметров сложно. Следует учитывать, что неплотности камер сгорания ДВС зависят от износа гильз цилиндров, поршневых колец, поршневых канавок, от закоксованности и залегания колец в поршневых канавках.

Анализ источников [1-12] свидетельствует о том, что расход КГ, зависимый от неплотностей камеры сгорания цилиндров, возрастает с наработкой ДВС, но не пропорционально ей. Расход КГ нестационарен, его динамика установлена в НАТИ по осциллограммам давления КГ [7].

Известен прибор М400MR (рис. 1), который измеряет поток газов из картера двигателя, возникающий из-за утечек через поршневые кольца, направля-




*Рисунок 1. Расходомер картерных газов М400MR (Алтон, Хэмпшир, Англия)*

ющие клапанов и турбокомпрессор. Данный расходомер картерных газов работает по принципу вихреобразования, что обеспечивает быструю реакцию и нечувствительность к температуре, давлению и скорости. В измерительном приборе отсутствуют движущиеся части, а принцип вихреобразования обеспечивает хорошую стабильность нуля. Данный прибор можно охарактеризовать как удобный в практическом применении, так как пользователь выбирает достаточно широкие диапазоны измерения расхода (от 4 до 150 л/мин, от 11 до 300 л/мин, от 15 до 400 л/мин). Этот приюор подходит для двигателей с искровым зажиганием и дизельных двигателей, а для отображения выходного потока и настроек имеется дисплей. Задаваемые пользователем единицы измерения объемного расхода газа – литры в минуту (л/мин) либо CFM (кубические футы в минуту). Прибор имеет встроенные маслоотделители и заслонки, а также встроенные порты для датчиков температуры и давления. Информация о расходе и показаниях сумматора отображается и передается через аналоговый выходной канал. Порт RS-232 используется для настройки счетчика и внесения изменений.

В качестве материалов корпусных деталей рассматриваемого расходомера M400MR выступают анодированный алюминий, нержавеющая сталь и тефлон.

Для измерения количества газов, прорывающихся в картер двигателя, используется также линейный расходомер VF563 с портативным дисплеем (Англия) [14]. Расходомер при измерении крепится к вентиляционному отверстию картера в системах его вентиляции. Портативный дисплей отображает на своем ЖК-экране значение ACFM (фактический кубический фут в минуту) или LPM (литры в минуту).

Известна портативная система измерения расхода картерных газов через поршневые кольца J-TEC HBM453 (рис. 2) с технологией вихреобразования, предназначенная для оперативной проверки прорыва газов и раннего выявления износа поверхностей ЦПГ двигателя [15]. Расходомер HBM453 позволяет оценить утечку через поршневые кольца в реальных условиях эксплуатации, измеряя поток воздуха из вентиляционного отверстия картера или поддона картера двигателя.

Расходомер J-TEC HBM453 сочетает в себе все преимущества вихревых расходомеров и имеет конструкцию, хорошо подходящую для ремонтных мастерских, автоэкспертов и диагностов.

Преимуществом технологии вихреобразования является возможность использовать расходомеры с низким перепадом давления и высоким коэффициентом регулирования, что делает их универсальным устройством для измерения расхода воздуха на входе в двигатель, прорыва газов из картера и выхлопных газов. Благодаря отсутствию движущихся частей, эти расходомеры отличаются прочностью и практически безотказной работой.

Использование индикаторов расхода КГ (КИ-4887-II-ГОСНИТИ, КИ-13671-ГОСНИТИ, КИ-17999-ГОСНИТИ в соответствии с патентами Кириченко Ю.Т., Дунаева А.В. и Чигвинцева А.Н. [7] и иных приборов) имеет определенные особенности. Так, например, не учитывается охлаждение КГ, конденсация паров воды из КГ. Показательно, что в испытаниях Дынги И.Г. расход КГ через прибор КИ-4887-II-ГОСНИТИ после предварительного прохода их через рессивер (объемом около 100 л) оказывался вдвое меньшим.

Группой исследователей – Никитиным В. А., Дунаевым А. В., Крюченковым В. В. были отмечены особенности состава КГ и работы индикаторов. В составе КГ выявлено присутствие некоторой доли паров воды, которые конденсируются в индикаторах всех типов, поэтому приборы накапливали влагу и их детали покрывались ржавчиной. В связи с этим на опытном заводе ЦелинГОСНИТИ была предусмотрена смазка внутренних элементов индикаторов (КИ-13671-ГОСНИТИ, КИ-17999-ГОСНИТИ). На холоде пары воды в цилиндрике индикатора конденсируются, по причине чего поршенек в цилиндре зависает. Зависает он и от паров и/или брызг масла с КГ. Поэтому в индикаторе устанавливались лопатки для завихрения газов и осаждения брызг масла (совместная разработка с Чечетом В.А.).




*Рисунок 2. Портативная система измерения расхода картерных газов J-TEC HBM453 (Cedar Rapids, IA, США)*

Имеются также сложности и с фиксацией показаний приборов, т.к. требуется выявить временную переменчивость расхода, изловить среднее, максимум или минимум показаний приборов. Для этого нужна тщательная регулировка раскрытия дросселя приборов, чтобы добиваться положения поршенька на средней высоте в прозрачных цилиндриках сигнализаторов давления.

На показания измерительных устройств существенно влияет и интенсивный воздушный поток от вентилятора ДВС, который может воздействовать на дроссель приборов. Поэтому в технологии диагностирования ЦПГ от ГОСНИТИ появилось указание: ставить перед прибором пластину для защиты его от воздушных масс, нагнетаемых вентилятором двигателя.

На эксплуатационную динамику расхода КГ влияют и свойства моторных масел. Так, свежее масло может уменьшать интенсивность изнашивания, т.к. его противоизносные свойства выше, чем у проработавшего масла, но свежее масло может быть менее вязким и в целом влияние свойств моторного масла неоднозначно. В этой связи убедителен спектральный анализ масел на продукты изнашивания в ДВС по содержанию железа (90 % – из ЦПГ), алюминия, хрома [8, 9]. Технической службой Российской железной дороги сформирован ГОСТ на подобный контроль, а Центральным научно-исследовательским автомобильным и автомоторным институтом (НАМИ) – три РД. Частично оценить отмеченное влияние можно «капельной пробой масла» на лабораторной фильтровальной бумаге [10-11].

На расход КГ значительное влияние оказывает закоксованность поршневых колец в канавках поршня [7]. Раскоксовывание ЦПГ заметно уменьшает расход КГ, т.к. кольца освобождаются и полнее уплотняют ЦПГ. Однако простая заливка свежего масла существенно расход КГ не уменьшит и с использованием обычных масел достичь раскоксовывания не получается. Поэтому эффективно применение некоторых раскоксовывающих жидкостей, но раскоксовывание трудоемко, требует специальных жидкостей, что часто нереализуемо. В то же время возможна частичная промывка двигателя дизельным топливом. Так, в АТП СП «Эрдэнэт» дизтопливом промывали дизель ЯМЗ-238 на 30-тонном БелАЗ-7523. Последующий спектральный анализ масла этого дизеля показал уменьшение содержания железа, алюминия и хрома.

Представим некоторые зависимости для определения расхода КГ. Для расчета утечек КГ А. А. Чапчаев предложил экспериментальное уравнение [16]

$$G = \left(9f + G'\right)\sqrt{\frac{p_i}{700}},$$

где 9 – эмпирический коэффициент, л/мин·мм$^2$;

$f$ – площадь просвета, мм$^2$;

$G'$ – утечка КГ при нормальном состоянии колец, поршней и цилиндров, л/мин;

$p_i$ – среднее индикаторное давление, кПа.

Уравнение Чапчаева А.А. применимо для расчета утечек газов дизельных и бензиновых двигателей и показало достаточную пригодность (погрешность расчета составляет 15-20 %). Однако данное уравнение не учитывает влияния скоростного режима двигателя, поэтому при больших износах это приводит к значительной погрешности в расчетах.

Принимая во внимание, что относительная площадь проходного сечения уже учитывает линейные размеры цилиндра, в качестве приближенной зависимости для расчета утечек КГ можно использовать зависимость [16]

$$G = \frac{q \cdot p_i}{\sqrt[4]{i} \cdot \tau\left(1{,}1 + 0{,}28n \cdot 10^{-3}\right)},$$

где $q$ – относительная площадь просвета;

$i$ – число колец;

$n$ – частота вращения коленчатого вала, мин$^{-1}$;

$\tau$ – число оборотов, приходящихся на один рабочий ход, для четырехтактных двигателей. $\tau = 2$.

Зависимость расхода КГ через поршневые кольца от параметров рабочего процесса и их технического состояния по Лютову И.Л. определяется выражением [18]:

$$G = 685\mu_{max} f_{усл} \Phi_{о\,ср} \frac{p_t}{\sqrt{RT_{ко}}},$$

где $\mu_{max}$ – максимальный коэффициент расхода при критическом перепаде давления, определяемый только величиной и формой отверстия;

$f_{усл}$ – условное проходное сечение, определяемое всеми неплотностями кольцевого уплотнения, м$^2$;

$\Phi_{оср}$ – относительная расходная функция по среднему перепаду давления;

$p_t$ – среднее по времени давление в цилиндре, кПа;

$R$ – газовая постоянная, Дж/кг·К.

$T_{ко}$ – температура последнего компрессионного кольца, К.

$$p_t = \frac{1}{i}\left(2\sqrt{p_c p_a} + \psi p_i\right),$$

где $i$ – число тактов работы двигателя;

$p_a$, $p_c$, – давление начала и конца сжатия, кПа;

Ψ – коэффициент пропорциональности, учитывающий непрямолинейность связи между средним индикаторным давлением и давлением по времени у цикла со смешанным сгоранием;

### Экспериментальная проверка способа определения остаточного ресурса ЦПГ автотракторного двигателя

При выполнении комплекса научно-исследовательских работ определены основные ресурсные показатели двигателя Д-245.7Е3 при наработке 7165 часов. Измерения проводились после нагружения двигателя с помощью электробалансирной машины SDS 200L 601 (рис. 3) и достижения рабочей температуры охлаждающей жидкости 90-95 °С. Использовался профессиональный аппаратно-программный комплекс высокоточного анализа рабочих процессов в двигателях – комплект аппаратуры индицирования AVL «Indimaster» Advanced 671,



*Рисунок 3. Расположение дизеля Д-245.7 при нагружении с помощью электробалансирной машины SDS 200L 601 в лаборатории испытаний двигателей ОАО «УКХ «ММЗ»*

обеспечивающий погрешность измерений в соответствии с ГОСТ 14846-81. Нагружение двигателя до достижения рабочей температуры охлаждающей жидкости и моторного масла происходило при атмосферном давлении 99,4 кПа и температуре окружающего воздуха 22 °С.

Измерение дымности и других величин проводилось на прогретом двигателе с помощью дымомера AVL 439 (AVL, Австрия). В соответствии с нормами дымности по циклу ELR (Правила ЕЭК ООН № 49) для двигателя Д-245.7Е3, относящегося к экологическим нормам ЕВРО-3, номинальное значение дымности соответствует значению 29 %, а предельное, граничащее с экологическими нормами ЕВРО-2, соответствует значению 37 % (табл. 1).

В таблице 1 приведены установленные техническими условиями завода-изготовителя нормативные значения параметров диагностирования технического состояния ЦПГ двигателя Д-245.7Е3 с турбонаддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха, а также значения показателя степени функции изменения параметра α, найденные по результатам многочисленных экспериментальных исследований технического состояния ЦПГ двигателей [19].

Сущность разработанного способа определения остаточного ресурса ЦПГ автотракторного двигателя заключается в следующем. Изначально регистрируют величину наработки двигателя от начала эксплуатации или от капитального ремонта, выполняют безразборную проверку работоспособности форсунок и воздухоочистителя двигателя, в трехкратной повторности определяют давление в конце такта сжатия каждого цилиндра двигателя, расход картерных газов, давление в главной масляной магистрали, мощность двигателя, расход масла на угар, вакуумметрическое давление в надпоршневом пространстве каждого цилиндра двигателя и дымность отработавших газов. Да-

**Таблица 1. Нормативные значения основных ресурсных параметров диагностирования технического состояния ЦПГ двигателя Д-245.7Е3 и показателя α для этих параметров**

| Основные ресурсные диагностические параметры | Номинальное значение | Предельное значение | Показатель α |
|---|---|---|---|
| Давление в конце такта сжатия, МПа | 2,84 | 2,06 | 1,3 |
| Мощность двигателя при 2400 мин$^{-1}$, кВт | 90 | 87 | 0,8 |
| Вакуумметрическое давление (разрежение) в надпоршневом пространстве, МПа | 0,090 | 0,068 | 1,3 |
| Расход картерных газов при 2400 мин$^{-1}$, л/мин, не более | 31 | 100 | 1,5 |
| Давление в главной масляной магистрали при 2400 мин$^{-1}$, МПа | 0,35 | 0,25 | 1,4 |
| Удельный расход масла на угар, г/кВт·ч, не более | 0,3 | 0,4 | 1,8 |
| Дымность отработавших газов, % | 29 | 37 | 0,9 |

лее вычисляют среднее арифметическое значение каждого из упомянутых параметров, определяют прогнозируемый остаточный ресурс для каждого параметра с учетом вычисленных средних арифметических значений и заданных номинальному и предельному значениям каждого параметра, при этом остаточный ресурс ЦПГ определяют по среднему значению всех вычисленных прогнозируемых остаточных ресурсов для каждого параметра [20]. Так, основной расчетной зависимостью является следующее выражение [19, 20]:

$$t_1 = t_к \cdot \left[ \left( \frac{U_p}{u(t)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right],$$

где $t_к$ – наработка от начала эксплуатации объекта до момента контроля;

$U_p$ – предельное отклонение параметра;

$u(t)$ – измеренное отклонение параметра;

$\alpha$ – показатель степени функции изменения параметра.

При подстановке фактических значений величин, полученных при измерении ресурсных диагностических параметров (табл. 2) в расчетные зависимости согласно способу по патенту [20], получено значение остаточного ресурса ЦПГ 2375,3 ч.

В связи с отсутствием в ремонтных мастерских сельскохозяйственных предприятий расходомеров КГ и их высокой стоимостью возможно использование простейшего пьезометра, как для контроля давления КГ в картерном пространстве, так и для контроля давления наддува у турбированных двигателей. Подобный контроль описан в технологии диагностирования тракторов с помощью «Диагностической измерительно-прогнозирующей системы» КИ-13940-ГОСНИТИ.

Давление газов в картере автотракторных дизелей при обычной их работе невелико: 100-150 Па. При незначительном дросселировании газов диафрагмой на диагностической крышке на маслозаливной горловине блока цилиндров или на соответствующей крышке на сапуне (при обязательной герметизации картерного пространства от утечек КГ в неконтролируемые отверстия) достаточно 200-250 мм высоты прозрачных трубок или меньше.

Диаметр отверстий на металлической (возможно съемной) диафрагме может быть 1-3 мм. Подобные размеры обоснованы в 80-е годы в Украинском филиале ГОСНИТИ зав. лаб. диагностики Кирсой В.И. для дизелей ММЗ, СМД, ЯМЗ. При использовании пъезометра трубки в нем следует держать вертикально. В открытом конце трубки можно вставить маленькую воронку, которая поможет заливать воду и предотвращать случайный ее выброс при внезапном повышении давления КГ.

### Заключение

Расход КГ зависит от многих факторов, в том числе от загрязненности моторного масла. Измерение расхода КГ является достаточно сложной процедурой, где важна квалификация мастера-диагноста. В настоящее время целесообразен комплексный контроль состояния ЦПГ ДВС по наработке с использованием наиболее достоверных приборов (АГЦ-2, КИ-17999М, М400MR и др.). Существенно дополняют заключение о состоянии ЦПГ результаты спектрального анализа моторного масла как наиболее информативного метода, а также данные расхода моторного масла на угар, дымности и цвета отработавших газов, выхода паров и капель масла из сапуна и выпускной трубы, факты попадания капель масла на бумагу у обреза выпускной трубы. Высоко результативно прове-

**Таблица 2. Фактически зафиксированные значения основных ресурсных параметров диагностирования технического состояния ЦПГ двигателя Д-245.7Е3**

| Основные ресурсные диагностические параметры | 1-й цилиндр | 2-й цилиндр | 3-й цилиндр | 4-й цилиндр |
|---|---|---|---|---|
| Давление в конце такта сжатия, МПа | 2,30 | 2,27 | 2,29 | 2,30 |
| | 2,31 | 2,28 | 2,28 | 2,30 |
| | 2,30 | 2,27 | 2,28 | 2,31 |
| Мощность двигателя при 2400 мин$^{-1}$, кВт | 88 | | | |
| | 87 | | | |
| | 88 | | | |
| Вакуумметрическое давление (разрежение) в надпоршневом пространстве, МПа | 0,075 | 0,073 | 0,071 | 0,077 |
| | 0,075 | 0,074 | 0,072 | 0,077 |
| | 0,075 | 0,073 | 0,072 | 0,076 |
| Расход картерных газов при 2400 мин$^{-1}$, л/мин, не более | 76 | | | |
| | 77 | | | |
| | 78 | | | |
| Давление в главной масляной магистрали при 2400 мин$^{-1}$, МПа | 0,285 | | | |
| | 0,281 | | | |
| | 0,284 | | | |
| Удельный расход масла на угар, г/кВт·ч, не более | 0,35 | | | |
| | 0,36 | | | |
| | 0,36 | | | |
| Дымность отработавших газов, % | 35 | | | |
| | 36 | | | |
| | 35 | | | |

дение «капельной пробы» масла с учетом наработки двигателя, анализа замечаний оператора машины по потере мощности и других признаков работы ДВС.

В совокупности комплексных измерений, сопоставления результатов диагностирования, математической обработки величин параметров разработанный способ определения остаточного ресурса ЦПГ позволяет определить значения ресурсных параметров с достаточной достоверностью и своевременно наметить перечень работ по восстановлению работоспособности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дынга, И.Г. Исследование и разработка методов и средств диагностики технического состояния цилиндропоршневой группы и клапанов газораспределения тракторного двигателя: дис. ... канд. техн. наук: 05.00.00 / Дынга Иван Георгиевич; Центральн. науч.-исслед. Институт механизации и электрификации сельского хозяйства / ГОСНИТИ. – Москва, 1971. – 219 с.

2. Бельских, В.И. Диагностика технического состояния и регулировка тракторов / В.И. Бельских. – М.: Колос, 1973. – 495 с.

3. Присс, В.И. Диагностирование тракторов: учеб. пособие / В.И. Присс, В.К. Марочкин, Н.И. Бохан [и др.].; под ред. В.И. Присса. – Минск.: Ураджай, 1993. – 240 с.

4. Дунаев, А.В. Технология диагностирования колесных тракторов / А.В. Дунаев, К.Ю. Скибневский, Ю.Ю. Титов. – 2-е изд. – М.: ОТЭИ ГОСНИТИ, 1981. – 140 с.

5. Ладиков, В.В. Безразборные технологии увеличения эксплуатационного ресурса автотракторной техники: метод. пособие для специалистов автосервисов и автотранспортных предприятий / В.В. Ладиков, Г. Маркелов, В.А. Чечет [и др.] – М.: VICCO, 2004. – 52 с.

6. Коровянский, И.А. Комплексный метод контроля качества приработки и диагностирования цилиндропоршневой группы тракторных двигателей: дис. … канд. техн. наук: 05.20.03 / Коровянский Иван Андреевич. – Пушкин-Ленинград, 1982. – 178 с.

7. Дунаев, А.В. Выбор методов и средств диагностирования ЦПГ автотраторных ДВС / А.В. Дунаев // Техника в сельском хозяйстве. – 2007, № 6. – С. 25-28.

8. Бабошин, А.А. Разработка методики комплексного диагностирования двигателей и устройства для оценки технического состояния поршневой части ДВС / А.А. Бабошин, В.С. Малышев // Вестник МГТУ, 2010. – Т. 13, № 4/2. – С. 925-930.

9. Николаев, Е.В. Совершенствование технологии диагностирования цилиндропоршневой группы дизельного двигателя по параметрам картерных газов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Николаев Евгений Владимирович. – Москва, 2013. – 17 с.

10. Миклуш, В.П. Управление надежностью сельскохозяйственной техники методами диагностики и триботехники / В.П. Миклуш, А.В. Дунаев, В.Е. Тарасенко [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – 392 с.

11. Дунаев, А.В. Спектральный анализ масел как основа углубленного диагностирования агрегатов машин / А.В. Дунаев, В.Е. Тарасенко, А.А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сборник / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2020. – Вып. 54. – С. 65-73.

12. Ильин, П.И. О безразборном методе диагностики цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания / П.И. Ильин, С.Н. Шуханов, М.К. Бураев // Вестник ВСГУТУ. – 2025, № 4 (99). – С. 44-54.

13. Бельских, В.И. Справочник по техническому обслуживанию и диагностированию тракторов. – 3-е изд., перераб. и доп. / В.И. Бельских. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 399 с.

14. APPLIED MEASUREMENTS. Transducer Specialists Since 1991... Blow-By Flow Meters . – URL: https://appmeas.co.uk/ products/flow-meters/ (date of access: 25.09.2026).

15. J-TEC FLOW METER TECHNOLOGY. HBM453 Blow-By Flow Meter And Display. – URL: https://j-tecassociates.com/hbm453-blow-by-flow-meter-and-display/ (date of access: 25.09.2026).

16. Устинов, А.Н. Исследование поршневых колец дизелей / А.Н. Устинов. – Изд.-во Саратовского университета, 1974. – 126 с.

17. AVL BLOW BY METER. Master the leak Ideal solution for steady state, Ideal solution for steady state/. – URL: https://www.avl.com/en/testing-solutions/all-testing-products-and-software/advanced-measurement-technologies/avl-blow-meter (date of access: 25.09.2026).

18. Лютов, И.Л. Исследование показателей, определяющих техническое состояние цилиндропоршневой группы судовых дизелей: дис. ... канд. техн. наук: 05.00.00 /Лютов Игорь Леонидович. – Ленинград, 1965. – 242 с.

19. Ананьин, А.Д. Диагностика и техническое обслуживание машин / А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, И.И. Габитов [и др.]. – М.: Академия, 2008. – 432 с.

20. Патент BY 24799, МПК G 01M 15/04 (2006.01) Способ определения остаточного ресурса цилиндропоршневой группы автотракторного двигателя: № a 20240203: заявл. 18.09.2024: опубл. 05.01.2026 / Тарасенко В.Е.; заявитель: Бел. гос. аграрн. техн. ун-т. – 7 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 14.10.2026