

Научная статья  
УДК 621.43  
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-1-12-27>  
EDN: SADASY



## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДВИГАТЕЛЯ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ НА ВЕЛИЧИНУ ПОТРЕБЛЯЕМОГО ТОКА СТАРТЕРОМ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ БУЛЬДОЗЕРА

Р.Ф. Салихов ✉, И.А. Шутанов, В.В. Дубков

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ),  
г. Омск, Россия

✉ ответственный автор  
[salikhornat@yandex.ru](mailto:salikhornat@yandex.ru)

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В данной статье представлены методика проведения экспериментов и их результаты, показывающие взаимосвязь между величиной размаха сигнала потребляемого тока и скоростью приращения давления моторного масла, температурой охлаждающей жидкости дизельного двигателя силовой установки в условиях низких температур. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью снижения трудоемкости, продолжительности проведения технического диагностирования строительной техники, в частности бульдозера, особенно это актуально в полевых условиях Крайнего Севера. В настоящее время время исследования величины потребляемого тока проведены только для положительных температур (от 40 до 90 градусов Цельсия). При изменении температуры окружающего воздуха авторами было замечено, что исследуемый диагностический параметр (величина потребляемого тока) обладает нестабильностью, неоднозначностью показаний и требует корректировки. Требования прогрева дизельного двигателя силовой установки повышают простои в ожидании проведения диагностики. Пусковые отказы двигателя силовой установки приводят к нарушению условий для диагностики герметичности надпоршневого пространства путём измерения величины потребляемого тока. Поэтому целью исследования является получение зависимостей между величиной потребляемого тока стартером и скоростью приращения давления моторного масла, температурой охлаждающей жидкости двигателя силовой установки в условиях низких температур.

**Материалы и методы.** В данном разделе представлены методика и результаты проведенных экспериментов. Эксперименты проводились на дизельном, 6-цилиндровом, рядном двигателе силовой установки бульдозера Shantui SD 22 в полевых условиях при отрицательных температурах.

**Результаты.** На основании анализа экспериментальных данных были построены математические зависимости между величиной размаха сигнала потребляемого тока двигателем силовой установки и скоростью приращения давления моторного масла, температурой охлаждающей жидкости.

**Обсуждение и заключение.** Расширение функциональных возможностей применения метода относительной компрессии позволяет сократить трудоемкость диагностических операций, входящих в состав технического обслуживания №3 (которое проводится через каждую тысячу моточасов) у бульдозера марки Коматцу Д-355А на 8%, а трудоемкость диагностики самого дизельного двигателя силовой установки сокращается на 24%. Проведенные исследования позволяют ввести корректирующие коэффициенты и тем самым обеспечить заданную точность измерений и сократить трудоемкость, продолжительность, повысить контролепригодность технического диагностирования дизельного двигателя силовой установки строительных машин.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** силовая установка, дизельный двигатель силовой установки, бульдозер, величина потребляемого тока, величина размаха сигнала, температура охлаждающей жидкости, скорость приращения давления, диагностика

Статья поступила в редакцию 06.06.2025; одобрена после рецензирования 20.01.2026; принята к публикации 16.02.2026.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

© Салихов Р.Ф., Шутанов И.А., Дубков В.В., 2026



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Салихов Р.Ф., Шутанов И.А., Дубков В.В., Влияние температуры двигателя силовой установки на величину потребляемого тока стартером при диагностировании бульдозера // Вестник СибАДИ. 2026. Т. 23, № 1. С. 12-27. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-1-12-27>

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-1-12-27>

EDN: SADASY

## EFFECT OF POWER PLANT ENGINE TEMPERATURE ON THE AMOUNT OF CURRENT CONSUMED BY THE STARTER WHEN DIAGNOSING A BULLDOZER

Rinat F. Salikhov ✉, Ivan A. Shutanov, Valery V. Dubkov  
The Siberian State Automobile and Highway University (SiBADI),  
Omsk, Russia  
✉ corresponding author  
[salikhorinat@yandex.ru](mailto:salikhorinat@yandex.ru)

### ABSTRACT

**Introduction.** This article presents a methodology for conducting experiments as well as their results which show the relationship between the signal range magnitude of the current consumed and the rate of increase in engine oil pressure, the coolant temperature of a power plant diesel engine operating at low temperatures. The relevance of this study is determined by the need to reduce the complexity and time of technical diagnostics of construction equipment, in particular a bulldozer, which is of special importance in the field conditions of the Far North. Current consumption studies have been focused on positive temperature ranges (from 40 to 90 degrees Celsius). According to the authors' observations, when the ambient temperature changes, the diagnostic parameter under study (the amount of current consumed) is characterized by instability, reading ambiguity and requires correction. The need to warm up the diesel engine of the power pack increases the waiting time necessary for diagnostics. Starting failures of a power pack internal combustion engine lead to the violation of conditions for leak tightness diagnostics of the space above a piston by measuring the amount of current consumed. Therefore, the aim of the study is to determine relationship between the amount of current consumed by the starter and the rate of increase in engine oil pressure, the coolant temperature of a power pack diesel engine operating at low temperatures.

**Materials and methods.** This section presents the methodology and the results of the experiments. The experiments were carried out with a 6-cylinder diesel inline engine of the power pack of the Shantui SD 22 bulldozer in the field conditions at subzero temperatures.

**Results.** Based on the analysis of experimental data, mathematical dependences were constructed between the magnitude of the signal range of the current consumed by the power pack engine and the rate of increase in engine oil pressure, and the coolant temperature.

**Discussion and conclusion.** Expanding of the functionality of the relative compression method reduces labor content of diagnostic operations included in maintenance No. 3 (which is carried out every thousand operating hours) for Komatsu D-355A bulldozer by 8%, and labor content of diagnosing the diesel engine power pack itself is reduced by 17%. The research undertaken makes it possible to introduce correction coefficients and thereby to ensure the specified measurement accuracy and the reduced complexity and time, to improve the controllability of technical diagnostics of power plant diesel engines in construction machinery.

**KEYWORDS:** power pack; diesel engine of the power pack; bulldozer; the amount of current consumed; the magnitude of the signal range; coolant temperature; pressure rate increase; diagnostics

**The article was submitted: June 06, 2025; approved after reviewing: January 20, 2025; accepted for publication: February 16, 2026.**

**All authors have read and approved the final manuscript.**

**Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.**

*For citation.* Salikhov R.F., Shutanov I.A., Dubkov V.V., The effect of the power plant engine temperature on the amount of current consumed by the starter when diagnosing a bulldozer. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2026; 23 (1): 12-27. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-1-12-27>

© Salikhov Rinat F., Shutanov Ivan A., Dubkov Valery V., 2026



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

## ВВЕДЕНИЕ

Бульдозер является одним из наиболее востребованных видов строительной техники, применяемой при возведении различных сооружений. Тягово-скоростные показатели напрямую зависят от технического состояния различных систем бульдозера: двигателя внутреннего сгорания, гидропривода, движителя, режущих элементов рабочего оборудования.

Авторами проводились исследования технологической карты обслуживания бульдозера марки Д-355А одного из эксплуатационных предприятий. Исследования показали, что общая трудоемкость при ТО-3 данного бульдозера составляет 17,91 чел.-ч.

Диагностирование двигателя внутреннего сгорания силовой установки бульдозера имеет значительную долю в общем объеме диагностических работ (рисунок 1).

Согласно МДС 12.8–2007 «Рекомендации по организации технического обслуживания и ремонта строительных машин» в состав технического обслуживания ТО-3 бульдозера входит измерение диагностического параметра, такого как компрессия двигателя силовой установки.

Проведение технического диагностирования дизельного двигателя силовой установки (ДДСУ) бульдозера переносными приборами является трудоемкой операцией (рисунок 2).

Трудоемкость технологической операции «Измерение компрессии» ДДСУ составляет 2 чел.-ч. Учитывая личный опыт авторов, на замер относительной компрессии и анализ герметичности надпоршневого пространства цилиндров ДДСУ затрачивается в среднем 0,83 чел.-ч. Проведение диагностики методом ОК составляет 0,65 чел.-ч (с учетом подготовительно-заключительного времени) и 0,18 чел.-ч затрачивается на обработку и анализ полученных данных. Впоследствии авторы планируют сократить продолжительность обработки и анализа результатов измерения путем доработки программного обеспечения мотор-тестера.

Внедрение метода измерения герметичности надпоршневого пространства по величине потребляемого тока позволит сократить трудоемкость диагностических операций ТО-3 бульдозера марки Коматцу Д-355А на 8%, отдельно ДДСУ – на 24 %.

При проведении технического диагностирования двигателя силовой установки в полевых условиях диагност сталкивается с большими трудностями. Тяжелые условия работы, кото-

рые подразумевают под собой влияние климатических условий (дождь, снег и т.д.), наличие строительной пыли (цемент, песок, грунт) на поверхностях агрегатов (перенапряжение увеличивает риск падения и получения травм) увеличивают объем подготовительных работ, усложняют процесс проведения технического диагностирования.

Работа в полевых условиях требует значительных физических усилий, длительного нахождения на ногах, работы в неудобных позах, в результате чего наблюдается снижение уровня концентрации специалиста. Тем самым увеличивается риск появления ошибок при проведении диагностики. Поэтому необходимо улучшать условия работы диагноста и снижать трудоемкость проведения диагностики путем разработки новых и совершенствования существующих методов диагностики и автоматизации процессов проведения технического диагностирования.

На сегодняшний день для сокращения трудоемкости проведения диагностирования ДДСУ строительных машин применяются методы безразборной диагностики состояния цилиндрико-поршневой группы (ЦПГ), газораспределительного механизма (ГРМ), герметичности прокладки головки блока цилиндров (ГБЦ).

Понятие «силовая установка» подразумевает не жесткое соединение двигателя внутреннего сгорания и коробки передач, а пневматическое, гидравлическое или электрическое. На строительных машинах в большинстве случаев силовая установка состоит из дизельного четырехтактного двигателя внутреннего сгорания и гидротрансформатора.

В данной статье авторы акцентируют внимание именно на проведении технического диагностирования дизельного двигателя силовой установки.

Для оценки технического состояния дизельного ДДСУ применяются различные параметры, в числе которых абсолютная и относительная компрессии (ОК).

Метод измерения абсолютной компрессии подразумевает под собой измерение компрессии при помощи компрессометра/компрессографа последовательно в каждом цилиндре.

Метод ОК применяется при диагностировании бензиновых и дизельных двигателей силовых установок, но только для определения разницы между величиной компрессии отдельно работающих цилиндров. Величина же вклада каждого цилиндра отдельно в абсолютных единицах не измеряется.

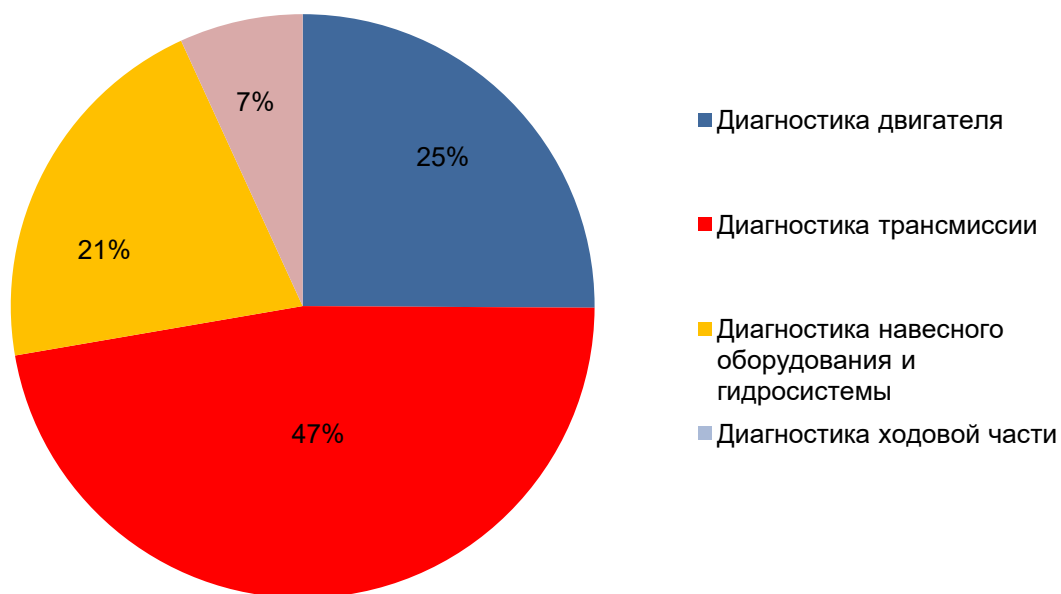


Рисунок 1 – Трудоемкость диагностических операций при проведении технического обслуживания ТО-3 бульдозера марки Коматцу Д-355А  
 Источник: составлено авторами.

Figure 1 – The rate of diagnostics operations during MS-3 for Komatsu D-355A bulldozer  
 Source: compiled by the authors.



Рисунок 2 – Трудоемкость, затрачиваемая на диагностические операции двигателя силовой установки при проведении ТО-3 бульдозера марки Коматцу Д-355А  
 Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Labor intensity for diagnostics operations of the power plant engine during MS-3, Komatsu D-355A bulldozer  
 Source: compiled by the authors.

Трудоемкость измерения абсолютной компрессии значительно превышает трудозатраты при измерении относительной компрессии (ОК).

Поэтому с целью снижения трудоемкости авторы предлагают усовершенствовать тест относительной компрессии, который в несколько раз менее трудоемкий, нежели чем замер абсолютной компрессии.

Несмотря на низкую трудоемкость измерения относительной компрессии, данный метод имеет ряд недостатков:

- а) влияние степени разряженности АКБ на точность измерений;
- б) измеряется только разница относительной компрессии между цилиндрами;
- в) влияние технического состояния стартера (износ щеток, снижение мощности).

В числе прочих существенным недостатком метода ОК является нестабильность данного параметра при различных температурах ДДСУ, технического состояния его механизмов.

Авторами статьи осуществлялись неоднократные выезды к строительной технике с целью проведения технического диагностирования дизельного двигателя силовой установки, часть из которых проводилась в условиях низких температур. Результаты технического диагностирования показали, что наблюдается несоответствие между значениями величины потребляемого тока, полученными при положительных и отрицательных температурах окружающей среды. То есть значения величины потребляемого тока при прокручивании коленчатого вала стартером на пусковой частоте вращения при отрицательных температурах показывает повышенное значение, отличное от полученных при положительных температурах с одинаковой наработкой.

Согласно сведениям из отечественных источников исследования величины потребляемого тока проведены только для положительных температур (от 40 до 90 градусов Цельсия). Для обеспечения условий проведения диагностики необходимо прогревать двигатель силовой установки, что повышает простои в ее ожидании. На объектах строительства при отрицательных температурах обеспечить такие условия становится еще более трудоемкой задачей, так как создается дополнительная нагрузка на ремонтный персонал. В условиях Крайнего Севера имеется опыт, когда техника длительное время не глушится, это приводит

к ускоренному снижению ресурса дизельного двигателя силовой установки.

Нестабильность, неоднозначность изучаемого параметра вызвана повышенным сопротивлением сжатию воздуха, из-за изменения его свойств, воздействия отрицательных температур. Как показали испытания, величина потребляемого тока стартером при разных условиях измерений ведет себя нестабильно. Для введения поправочного коэффициента с учетом низких температур необходимо получить зависимость величины потребляемого тока стартером от параметра, который бы позволял обеспечить требуемую точность, стабильность, однозначность, чувствительность, его изменения от температуры ДДСУ.

Помимо этого техника часто находится в различном тепловом состоянии, например в процессе разогрева, прогрева. Температуру окружающей среды можно использовать как параметр, относительно которого можно будет проводить корректировку величины потребляемого тока. Температура окружающей среды могла бы обеспечить необходимую стабильность исследуемого диагностического параметра, но только при условии, когда температура ДДСУ ей соответствует. В настоящее время ведутся исследования, оценивающие влияние температуры окружающей среды на величину потребляемого тока стартером.

Дополнительно авторами было предложено исследовать зависимости величины потребляемого тока дизельного двигателя силовой установки бульдозера от следующих параметров: скорость приращения давления моторного масла, температура охлаждающей жидкости.

Анализ работ, посвященных применению метода относительной компрессии, показал, что ряд авторов предлагают методику технического диагностирования герметичности надпоршневого пространства, основанную на измерении величины потребляемого тока стартером при холодной пусковой прокрутке коленчатого вала [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

Другими авторами был предложен совершенно иной метод оценки технического состояния двигателя, основывающийся на сравнении фактического значения величины потребляемого тока с эталонным [9, 10, 11].

В диссертационной работе Т.И. Кривцовой проведены исследования, доказывающие корреляцию между параметрами: герметичность

надпоршневого пространства и величина потребляемого тока, при температуре моторного масла 40–90 градусов Цельсия и заряде аккумуляторной батареи не менее 50%<sup>1</sup>.

Авторами статьи была выдвинута гипотеза о том, что косвенными параметрами, отображающими свойства воздушного заряда, могут являться скорость приращения давления моторного масла и температура охлаждающей жидкости.

Цель исследования – получение зависимостей величины размаха сигнала потребляемого тока стартером от скорости приращения давления моторного масла, температуры охлаждающей жидкости двигателя силовой установки.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования в течение пяти лет являлся бульдозер Shantui SD 22, оснащенный дизельным четырёхтактным 6-ци-

линдровым, однорядным двигателем силовой установки с турбонаддувом фирмы Cummins модель NT855-C280S10 (рисунок 3) с жидкостным охлаждением, период наработки техники составляет 5125–9179 моточасов.

Для проведения эксперимента использовалось следующее диагностическое оборудование: мотортестер марки USB Autoscope версия 3, токовые клещи, работающие в диапазоне от 0 до 600 А, ноутбук с установленным программным обеспечением, устройство для измерения параметров электросети марки Ablogger версия V2.1, пирометр (для измерения температуры охлаждающей жидкости и моторного масла), видео/фотокамера смартфона Xiaomi Redmi 9.

Для подтверждения вышеописанных гипотез были проведены два эксперимента в холодное время года при температуре окружающей среды -17 и -21 градусов Цельсия с интервалом в один год при наработке соответственно 9000 и 9178 моточасов.



Рисунок 3 – Бульдозер Shantui SD 22  
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Shantui SD22 Bulldozer  
Source: compiled by the authors.

<sup>1</sup> Кривцова Т.И. Совершенствование метода диагностирования компрессионных свойств дизельных двигателей тракторов и автомобилей сельскохозяйственного назначения по характеристикам стартерного тока: автореф. дисс. канд. техн. наук. Улан-Удэ, 2011. 20 с.

Первый эксперимент проводился при температуре окружающего воздуха -17 градусов Цельсия с целью определения влияния скорости приращения моторного масла в системе смазки на величину потребляемого тока. Суть эксперимента заключалась в том, что на холодном двигателе силовой установки бульдозера Shantui SD 22 при прокручивании коленчатого вала стартером (частота вращения коленчатого вала составляла около 170 об/мин) фиксировались показания величины потребляемого тока. Затем проводилось измерение температуры моторного масла в области картера. В процессе прокручивания коленчатого вала фиксировалось время, за которое давление в системе смазки достигало установленного значения (0,25 МПа). Показания давления в системе смазки фиксировались с помощью штатного датчика. После проведения вышеописанных операций осуществлялся запуск двигателя и прогрев моторного масла в течение 5–10 мин. Затем повторно проводились вышеописанные операции. Показания времени и давления в системе смазки необходимы для расчета скорости приращения давления моторного масла. Экспериментальные данные и результаты расчета по формуле (1) представлены в следующем разделе.

Через год проводился второй эксперимент при температуре окружающего воздуха - 21 градус Цельсия с целью определения зависимости величины потребляемого тока от температуры охлаждающей жидкости. Суть эксперимента заключалась в том, что на холодном двигателе силовой установки бульдозера SHANTUI SD 22 осуществлялось прокручивание коленчатого вала стартером (частота вращения коленчатого вала составляла около 170 об/мин). Затем с помощью подогревателя охлаждающей жидкости осуществлялся ее нагрев. Через каждые 5 градусов Цельсия при помощи пирометра фиксировались показания температуры ОЖ в области термостата (рисунок 4). Далее осуществлялось прокручивание

коленчатого вала стартером, величина потребляемого тока фиксировалась прибором марки Ablogger версия V2.1. Монтаж устройства Ablogger версия V2.1 проводился на плюсовой провод аккумулятора (рисунок 5), из-за отсутствия технической возможности, связанной с влиянием низких температур на состояние аккумуляторных батарей ноутбуков с программным обеспечением.

Авторами было принято решение о применении прибора марки Ablogger версия V2.1 в качестве аналога токовых клещей, в связи с тем, что он обладает возможностью измерения и записи сигналов при -20 градусах Цельсия. Показания прибора и токовых клещей являются полностью идентичными.

Полученные результаты измерения величины потребляемого тока от температуры охлаждающей жидкости представлены в следующем разделе.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам анализа полученных данных первого эксперимента была предложена формула (1) для расчета скорости приращения давления моторного масла:

$$v_m = \frac{\Delta P}{(t_k - t_n) \cdot n_{cp}}, \quad (1)$$

где  $v_m$  – скорость приращения давления моторного масла, МПа/об;

$\Delta P$  – установленное значение давления моторного масла, МПа;

$t_k$  – конечное значение времени, с;

$t_n$  – начальное значение времени, с;

$n_{cp}$  – среднее значение частоты вращения коленчатого вала, об/мин.

На основании предложенной формулы были проведены расчеты и построены графические и аналитические зависимости, характеризующие изменение величины размаха потребляемого тока от скорости приращения давления моторного масла.



Рисунок 4 – Измерение температуры ОЖ в области термостата  
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Measurement of coolant temperature in the thermostat area  
Source: compiled by the authors.



Рисунок 5 – Место монтажа устройства марки Ablogger V2.1  
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Installation location of the Ablogger V2.1 device  
Source: compiled by the authors.

Таблица 1  
 Результаты измерения величины размаха потребляемого тока  
 от скорости приращения давления моторного масла  
 Источник: составлено авторами.

Table 1  
 Measurement results for the magnitude of the consumed current change  
 depending on the increase in engine oil pressure  
 Source: compiled by the authors.

Средняя частота вращения коленчатого вала, об/мин	Температура картера двигателя, °С	Продолжительность нарастания давления до установленного значения, сек	Давление в системе смазки, МПа	Верхнее значение сигнала, А	Нижнее значение сигнала, А	Размах сигнала, А
142	-17	4	0,25	575	429	146
155	-5	4	0,25	500	375	125
167	-1	4	0,25	418	310	108
174	6	3	0,25	365	269	96
202	27	3	0,25	359	265	94

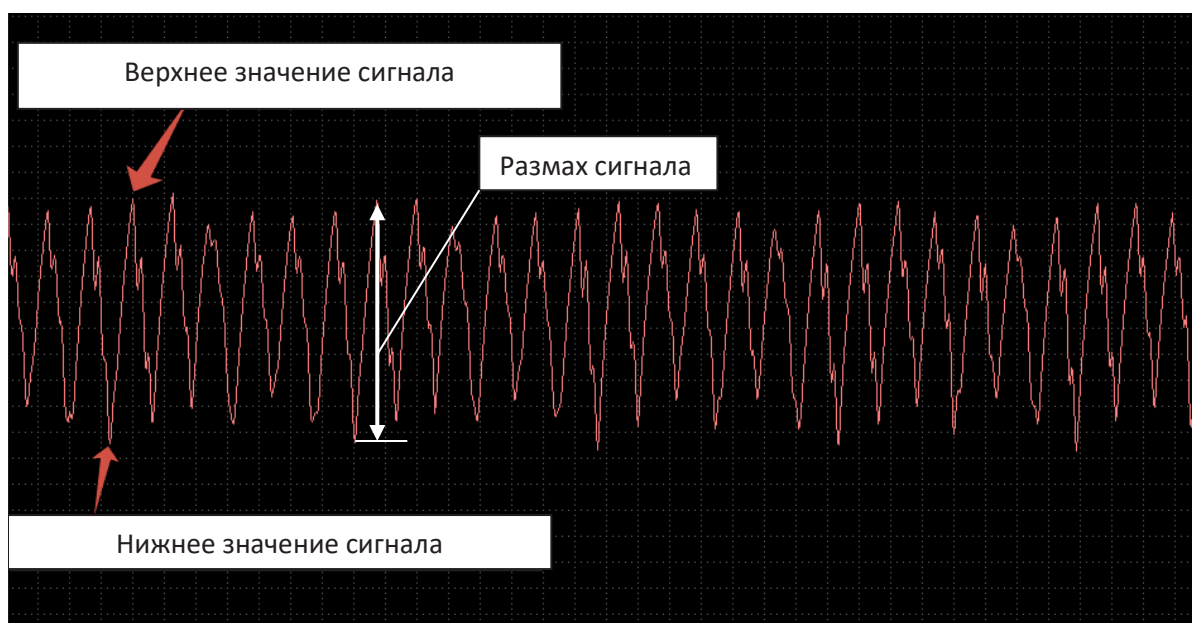


Рисунок 6 – Осциллограмма потребляемого тока стартером с параметрами сигнала  
 Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Oscillogram of the current consumed by the starter with signal parameters  
 Source: compiled by the authors.

В результате подстановки данных первого эксперимента в формулу (1) были получены значения скорости приращения давления моторного масла (таблица 1).

Под размахом понимается разность между максимальным и минимальным значениями сигнала величины потребляемого тока стартером (рисунок 6).

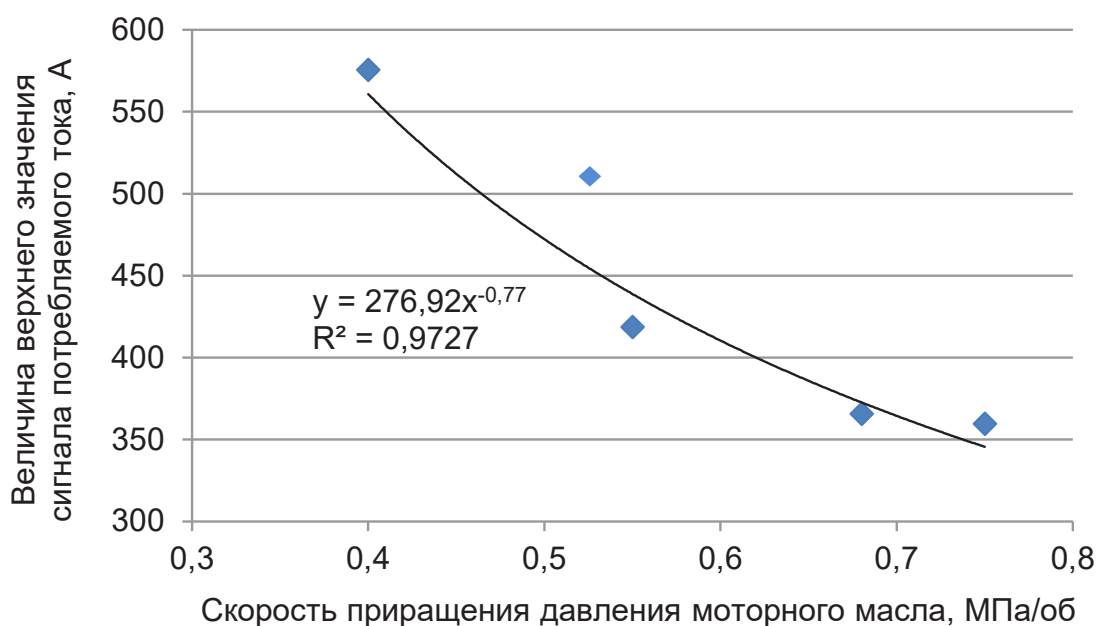


Рисунок 7 – Зависимость изменения величины верхнего значения сигнала тока от скорости приращения давления моторного масла  
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Relation between the maximum current signal amplitude and the rate of increase in engine oil pressure  
Source: compiled by the authors.

Затем была построена графическая и получена аналитическая зависимости верхнего значения величины потребляемого тока от скорости приращения давления моторного масла, приведенные на рисунке 7 и в формуле (2).

$$I = 276,9 \cdot v_M^{-0,77}, \quad (2)$$

где  $I$  – величина потребляемого тока, А;  
 $v_M$  – скорость приращения давления моторного масла, МПа/об.

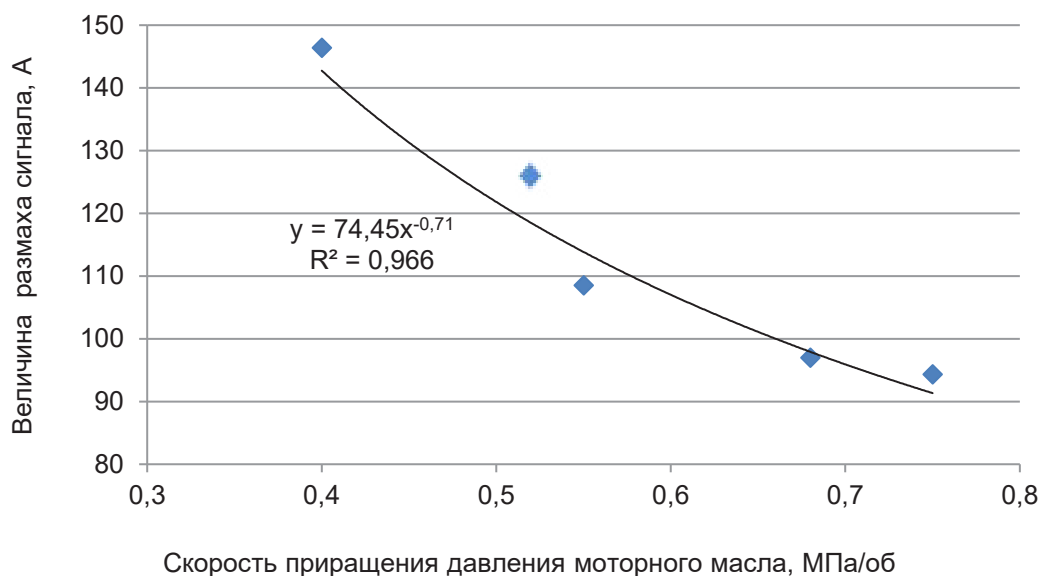


Рисунок 8 – Зависимость изменения размаха сигнала от скорости приращения давления моторного масла  
Источник: составлено авторами.

Figure 8 – Relation between changes in the signal range and the rate of increase in engine oil pressure  
Source: compiled by the authors.

По результатам первого эксперимента также были получены графическая и аналитическая зависимости величины размаха сигнала от скорости приращения давления моторного масла, приведенные на рисунке 8 и в формуле (3).

$$\Delta = 74,45 \cdot v_M^{-0,71}, \quad (3)$$

где  $\Delta$  – величина размаха сигнала, А;

$v_M$  – скорость приращения давления моторного масла, МПа/об.

Факторами, влияющими на снижение скорости приращения давления моторного масла в системе смазки ДДСУ, являются следующие:

- износ масляного насоса;
- неисправность редукционного клапана;

- увеличенный зазор в кривошипно-шатунном механизме (КШМ);

- повышение вязкости моторного масла, приводящего к возрастанию момента сопротивления при прокручивании коленчатого вала стартером.

Учитывая тот факт, что по мере прогревания ДДСУ продолжительность нарастания давления до установленного значения моторного масла уменьшается, а скорость приращения давления моторного масла увеличивается, авторы пришли к выводу о том, что причиной низкой скорости приращения давления моторного масла при прокручивании коленчатого вала стартером является его повышенная вязкость.

Таблица 2  
 Результаты измерения величины потребляемого тока от температуры охлаждающей жидкости  
 Источник: составлено авторами.

Table 2  
 Measurement results for the current consumption and the coolant temperature  
 Source: compiled by the authors.

Температура охлаждающей жидкости, °С	Верхнее значение сигнала, А	Нижнее значение сигнала, А	Размах сигнала, А
-21	658	445	213
-19	600	400	200
12	600	415	185
13	590	415	175
18	590	415	175
25	590	410	180
30	560	375	185

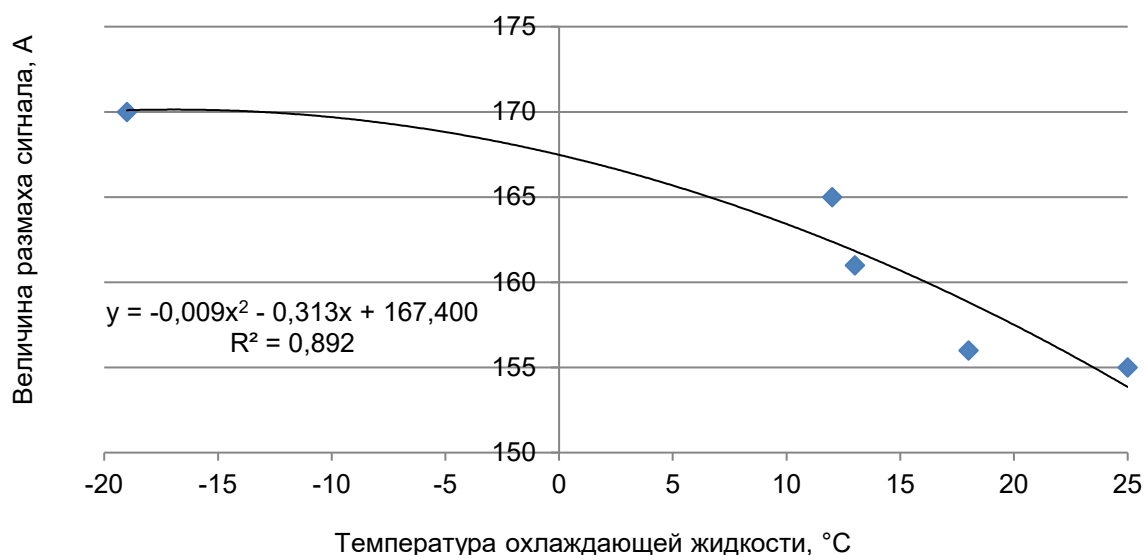


Рисунок 9 – Зависимость изменения размаха сигнала от температуры охлаждающей жидкости  
 Источник: составлено авторами.

Figure 9 – Relation between the change in the signal range and the coolant temperature  
 Source: compiled by the authors.

Полученные результаты испытаний второго эксперимента, характеризующие изменения величины потребляемого тока от температуры охлаждающей жидкости, представлены в таблице 2.

По результатам испытаний второго эксперимента были получены графическая и аналитическая зависимости величины размаха сигнала от температуры охлаждающей жидкости, приведенные на рисунке 9 и в формуле (4).

$$\Delta = -0,009 \cdot t^2 - 0,313 \cdot t + 167,400, \quad (4)$$

где  $\Delta$  – величина размаха сигнала, А;  
 $t$  – температура охлаждающей жидкости, °С.

Полученные зависимости позволяют сделать вывод о том, что величина размаха сигнала потребляемого тока двигателем силовой установки снижается с увеличением скорости приращения давления моторного масла и температуры охлаждающей жидкости.

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расширение функциональных возможностей применения метода относительной компрессии позволяет сократить трудоемкость диагностических операций ТО-3 бульдозера марки Коматцу Д-355А на 8%, отдельно ДДСУ – на 24%.

Сокращение трудоемкости проведения диагностики ДДСУ обусловлено значительным уменьшением времени при измерении компрессии. Трудоемкость измерения компрессии традиционными методами (компрессометр/компрессограф) составляет 43% от общей трудоемкости диагностики ДДСУ. При измерении методом ОК трудоемкость оценки герметичности надпоршневого пространства снижается на 58,5 %. Следовательно, применение метода ОК позволит в значительной степени автоматизировать процесс измерения компрессии, тем самым снизить трудоемкость при проведении ТО-3 бульдозера.

По результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что при одинаковой температуре окружающей среды значения величины потребляемого тока при прокручивании коленчатого вала стартером холодного ДДСУ отличаются (см. таблицы 1, 2). Эти отличия могут быть вызваны изменением вязкости моторного масла (повышение или снижение), ухудшением технического состояния механизмов ДДСУ (увеличение зазоров в КШМ, в масляном насосе, неисправность редукционного клапана). При повышении температуры моторного масла значительно меняется пусковая частота вращения коленчатого вала. Температура охлаждающей жидкости не учитывает влияния вышеперечисленных факторов, и поэтому зависимость величины потребляемого тока от данного параметра будет обладать значительной погрешностью.

При одной и той же температуре моторного масла и охлаждающей жидкости наблюдаются разные значения размахов сигналов потребляемого тока. Это объясняется разными условиями проведения испытаний.

По мнению авторов, параметр «скорость приращения давления моторного масла» позволяет учитывать влияние вышеперечисленных факторов. Тем самым применение полученных зависимостей (см. рисунки 7, 8; формулы (2), (3)) позволят более точно осуществлять корректирование величины потребляемого тока для оценки технического состояния герметичности надпоршневого пространства ДДСУ.

Применение полученных результатов исследований повысят заданную точность измерений, сократят трудоемкость, продолжительность технического диагностирования дизельного двигателя силовой установки строительных машин.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Нечаев В.В., Головкин К.В., Тарасенко А.А., Носков С.В. Результаты исследования метода диагностирования цилиндропоршневой группы двигателя // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3.
2. Павлов Д.В. Пуск дизельного двигателя 1Ч9,5/8,0 путем принудительной подачи предварительно разогретого воздушного заряда // Известие высших учебных заведений. Машиностроение: 2022. № 3(744): 53–59. <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2022-3-53-59>
3. Бондарь В.Н. Математическая модель рабочего процесса дизельного двигателя на режимах пуска // Вестник СибАДИ. 2016. Вып. 1 (47). С. 81–86.
4. Нечаев В.В., Воробьев Е.В., Тарасенко А.А. Методики технического диагностирования цилиндропоршневой группы дизелей холодной пусковой прокруткой коленчатого вала // Инженерный вестник Дона. № 3. 2018.
5. Елагин М.Ю., Павлов Д.В., Хмелев Р.Н. Разработка и апробация математической модели режима работы дизеля при низких температурах окружающей среды // Известия МГТУ МАМИ. 2020. № 2(44): 78–84 <https://doi.org/10.31992/2074-0530-2020-44-2-78-84>
6. Картуков А.Г., Нечаев В.В. Методика определения разброса компрессии в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания при прокрутке коленчатого вала // Двигателестроение. 2017. № 1. С. 31–35.
7. Павлов Д.В., Платонов К.Ю., Хмелев Р.Н. Математическое моделирование процесса функционирования одноцилиндрового дизеля с воздушного охлаждения с учетом расхода картерных газов // Известия МГТУ МАМИ. 2020. № 3(45). С. 75–82. <https://doi.org/10.31992/2074-0530-2020-45-3-75-82>
8. Бабошин А.А., Косарев А.С., Малышев В.С. Оценка технического состояния двигателей внутреннего сгорания по току, потребляемому стартером при прокрутке двигателя // Вестник МГТУ. Т. 16, № 1. 2013. С. 33–39.
9. Agureev I.E., Elagin M.Yu., Pavlov D.V., Khmelev R.N. Studies of the process of heating air in the inlet pipe for starting diesel engine at low temperatures. // ICMTMTE 2020: BRISTOL.– ENGLAND. 2020. С 42 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/971/4/042028>
10. Пегачков А.А., Кузовков И.М. Удаленная диагностика тепловых параметров двигателя внутреннего сгорания // Высокие технологии в строительном комплексе. 2020. № 1 С. 204–210.
11. Зорин В.А., Рузанов Е.В., Пегачков А.А. Прогнозирование надежности дорожной и строительной с применением универсальных бортовых контроллеров // Техника и технологии транспорта. 2019. № 13. С.50.

12. Кривцов С.Н., Деньгин И.Д. Результаты экспериментального исследования метода диагностики двигателя на основе анализа бокового ускорения блока двигателя: материалы 116-й Международной научно-технической конференции ААИ. Улан-Удэ, 2023. С. 93–98.
13. Кривцов С.Н., Деньгин И.Д., Кочетков С.П., Яковчук П.С. Методика диагностирования автомобильного двигателя по балансировке цилиндров в режиме холостого хода: сборник научных трудов по материалам 80-й Научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ / под общ. ред. А. А. Солнцева. Москва, 2022. С. 139–145.
14. Грунин К.Е., Гоева В.В., Гришин Н.Е. Совершенствование диагностирования автотракторных двигателей пневмотестированием // Естественные и технические науки. 2022. № 10(173). С. 182–192.
15. Кривцов С.Н., Яковчук П.С., Деньгин И.Д. Влияние технического состояния дизельного двигателя на изменения давления в цилиндре // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 25-летию Института транспорта, Тюмень, 11–12 апреля 2024 года. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2024. С. 163–167.
16. Кривцов С.Н., Деньгин И.Д. Прибор для диагностирования дизельных двигателей по параметрам балансировки на холостом ходу. Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК: материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Терских Ивана Петровича, Молодёжный, 06–08 октября 2022 года / Редколлегия: Н.Н. Дмитриев [и др.]. Молодёжный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. С. 15–22.
17. Яковчук П.С., Кривцов С.Н. Алгоритм диагностирования дизельных двигателей автомобилей по показаниям датчика массового расхода воздуха // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 124-й Международной научно-технической конференции, Иркутск, 17–19 сентября 2025 года. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет.
18. Кривцов С.Н., Деньгин И.Д., Данилов В.А. [и др.] Результаты экспериментального исследования по определению влияния момента зажигания и впрыска, а также работоспособности цилиндров автомобильного двигателя на величину боковых ускорений блока цилиндров // Мехатроника, автоматика и робототехника. 2024. № 13. С. 157–164. <https://doi.org/10.26160/2541-8637-2024-13-157-164>
19. Кривцов С.Н., Деньгин И.Д. Результаты экспериментального исследования метода диагностики двигателя на основе анализа бокового ускорения блока двигателя // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 116-й Международной научно-технической конференции, Улан-Удэ, 12–13 сентября 2023 года. Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2023. С. 93–98. [https://doi.org/10.53980/9785907746091\\_93](https://doi.org/10.53980/9785907746091_93)
20. Медведев А.А. Оптимизация пусковых процессов дизельных двигателей // Повышение управленческого, экономического, социального и инновационно-технического потенциала предприятий, отраслей и народно-хозяйственных комплексов: сборник статей XV Международной научно-практической конференции, Пенза, 22–23 мая 2024 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. С. 198–202.
21. Афанасьев А.С., Гаидашов Ю.А., Марченко М.А. Диагностирование дизелей по параметрам сопутствующих процессов в режиме компрессорного цикла. СПб.: В сборнике «Инновации на транспорте и в машиностроении»: сборник трудов III Международной научно-технической конференции: в 5 томах; под ред. В.В. Максарова. 2015. С. 9–12.
22. Кузнецов Н.В. Безразборная экспресс-диагностика для определения неисправности компрессии в цилиндрах двигателя: материалы XX Международной научно-практической конференции «Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике» (г. Кемерово 8-9 декабря 2021 года) / под ред. кол. Е.А. Ижмулкина [и др.]; ФГБОУ ВО Кузбасская ГСХА. Кемерово, 2021 г. С. 136 – 139.
23. Попов А.Ю. Диагностика и анализ графиков давления цилиндров двигателя: материалы Международной научно-практической конференции «Инновационные научные исследования: теория, методология, практика» (12 февраля 2021 г.) / под ред. А.И. Вострецова; Научно-издательский центр «Мир науки».

## REFERENCES

1. Nechaev V.V., Golovko K.V., Tarasenko A.A., Noskov S.V. Results of a study of the method of diagnosing the cylinder piston group of an engine. *Engineering Bulletin of the Don*. No. 3. 2018. (in Russ.)
2. Pavlov D.V. Starting a 1H9.5/8.0 diesel engine by forcing a preheated air charge. *News of higher educational institutions. Mechanical engineering: 2022; №3(744): 53-59* (in Russ.) <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2022-3-53-59>
3. Bondar V.N. Mathematical model of the working process of a diesel engine in start-up modes. *SibADI Bulletin*, 2016; issue 1 (47), pp. 81-86. (in Russ.)
4. Nechaev V.V., Vorobyov E.V., Tarasenko A.A. Methods of technical diagnostics of the cylinder piston group of diesel engines by cold cranking. *Engineering Bulletin of the Don*. No. 3. 2018. (in Russ.)
5. Elagin M.Y., Pavlov D.V., Khmelev R.N. Development and testing of a mathematical model of diesel engine operation at low ambient temperatures. *Izvestiya MGTU MAMI: 2020; №2(44). Pp. 78-84* (in Russ.) <https://doi.org/10.31992/2074-0530-2020-44-2-78-84>

6. Kartukov A.G., Nechaev V.V. Methodology for determining the compression spread in internal combustion engine cylinders when scrolling the crankshaft. *Engine engineering*. 2017; No. 1. pp. 31-35. (in Russ.)
7. Pavlov D.V., Platonov K.Yu., Khmelev R.N. Mathematical modeling of the operation of a single-cylinder diesel engine with air cooling, taking into account the consumption of crankcase gases. *Izvestia of the Moscow State Technical University of MAMI*: 2020; №3(45): 75-82. (in Russ.) <https://doi.org/10.31992/2074-0530-2020-45-3-75-82>
8. Baboshin A.A., Kosarev A.S., Malyshev V.S. Assessment of the technical condition of internal combustion engines by the current consumed by the starter when the engine is running. *Bulletin of the Moscow State Technical University*. Volume 16. No. 1. 2013; pp. 33-39. (in Russ.)
9. Agureev I.E., Elagin M.Yu., Pavlov D.V., Khmelev R.N. Studies of the process of heating air in the inlet pipe for starting diesel engine at low temperatures. ICMTMTE 2020: BRISTOL. ENGLAND.2020. With 42. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/971/4/042028>
10. Pegachkov A.A., Kuzovkov I.M. Remote diagnostics of thermal parameters of an internal combustion engine. *High technologies in the construction complex*. 2020; No. 1, pp. 204-210. (in Russ.)
11. Zorin V.A., Ruzanov E.V., Pegachkov A.A., Forecasting the reliability of road and construction using universal on-board controllers. *Engineering and technology of transport*. 2019; No. 13. p.50. (in Russ.)
12. Krivtsov S.N., Den'gin D.I. Results of an experimental study of an engine diagnostic method based on analysis of lateral acceleration of the engine block. Proceedings of the 116<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference of the Association of Automotive Engineers (AAI). UlanUde, 2023; P. 93–98. (in Russ.)
13. Krivtsov S.N., Yakovchuk P.S., Den'gin D.I., Kochetkov S.P. Method for diagnosing an automobile engine via cylinder balancing in idle model. Collection of scientific papers based on the materials of the 80<sup>th</sup> ScientificMethodological and Research Conference of MADi / Ed. By A.A. Solntsev. Moscow, 2022; P.139–145. (in Russ.)
14. Grunin K.E., Goeva V.V., Grishin N.E. Improving diagnostics of automotive and tractor engines using pneumatic testing. *Natural and Technical Sciences*. 2022; No. 10(173). P. 182–192. (in Russ.)
15. Krivtsov S.N., Yakovchuk P.S., Den'gin I.D. Influence of the technical condition of a diesel engine on changes in cylinder pressure. Transport and TransportTechnological Systems: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 25<sup>th</sup> anniversary of the Institute of Transport, Tyumen: Tyumen Industrial University, 2024; P. 163–167. (in Russ.)
16. Krivtsov S.N., Den'gin I.D. Device for diagnosing diesel engines based on balancing parameters at idle. Current issues of Engineering and Technological Support for the AgroIndustrial Complex: Proceedings of the X National Scientific and Practical Conference with International Participation dedicated to the 90th anniversary of Honored Scientist and Engineer of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor Ivan Petrovich Terskikh, Molodezhny, October 06–08, 2022 /Editorial Board: N.N. Dmitriev et al. Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University named after A. A. Ezhevsky, 2022; P. 15–22. (in Russ.)
17. Yakovchuk P.S., Krivtsov S.N. Algorithm for diagnosing diesel car engines based on mass air flow sensor readings // Safety of Wheeled Vehicles in Operation: Proceedings of the 124<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference, Irkutsk, September 17–19, 2025. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University. (in Russ.)
18. Krivtsov S.N., Den'gin I.D., Danilov V.A. Results of an experimental study to determine the influence of ignition and injection timing, as well as cylinder performance of an automobile engine, on the magnitude of lateral accelerations of the cylinder block. *Mechatronics, Automation and Robotics*. 2024; No. 13. P. 157–164. (in Russ.) <https://doi.org/10.26160/2541-8637-2024-13-157-164>
19. Krivtsov S.N., Den'gin I.D. Results of an experimental study of an engine diagnostic method based on analysis of lateral acceleration of the engine block. Safety of Wheeled Vehicles in Operation: Proceedings of the 116<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference, UlanUde. September 12-13, 2023. UlanUde: East Siberian State University of Technology and Management, 2023. P. 93–98. (in Russ.) [https://doi.org/10.53980/9785907746091\\_93](https://doi.org/10.53980/9785907746091_93)
20. Medvedev A.A. Optimization of the Starting Processes of Diesel Engines. Increasing the Managerial, Economic, Social, and Innovative-Technical Potential of Enterprises, Industries, and National Economic Complexes: Collection of Articles from the XV International Scientific and Practical Conference, Penza, May 22–23, 2024. Penza: Penza State Agrarian University, 2024. Pp. 198-202. (in Russ.)
21. Afanasyev A.S., Gaidashov Yu.A., Marchenko M.A. Diagnostics of diesel engines by parameters of accompanying processes in the mode of the compressor cycle. SPb.: In the collection "Innovations in transport and mechanical engineering": collection of works of the III International scientific and technical conference: in 5 volumes; under the editorship of V.V. Maksarov. 2015. Pp. 9–12.
22. Kuznetsov N.V. Disassembled express diagnostics for determining compression malfunction in engine cylinders: materials of the XX International Scientific and Practical Conference "Modern Trends of Agricultural Production in the Global Economy" (Kemerovo, December 8-9, 2021) / edited by E.A. Izhmulkina [et al.]; Kuzbass State Agricultural Academy. Kemerovo, 2021, pp. 136-139.
23. Popov, A.Yu. Diagnostics and Analysis of Engine Cylinder Pressure Graphs: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Innovative Scientific Research: Theory, Methodology, and Practice" (February 12, 2021) / edited by A.I. Vostretsov; Scientific and Publishing Center

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

Салихов Р.Ф. Разработка и анализ экспериментальных данных.

Шутанов И.А. Проведение обзора. Получение экспериментальных данных.

Дубков В.В. Получение экспериментальных данных.

## CO-AUTHORS' CONTRIBUTION

Salikhov R.F. Experiment design and analysis of the experimental data.

Shutanov I.A. Literature review, obtaining the experimental data.

Dubkov V.V. Obtaining the experimental data.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Салихов Ринат Фокилевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ), заведующий научно-исследовательской лабораторией «Центр экспертиз и диагностики машин» (644050, г. Омск, пр. Мира, 5).

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9619-7789>,

**SPIN-код:** 3196-9174,

**e-mail:** [salikhorinat@yandex.ru](mailto:salikhorinat@yandex.ru)

Шутанов Иван Александрович – аспирант Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) (644050, г. Омск, пр. Мира, 5).

**e-mail:** [temamontana97@mail.ru](mailto:temamontana97@mail.ru)

Дубков Валерий Витальевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) (644050, г. Омск, пр. Мира, 5).

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2480-7795>

**SPIN-код:** 3196-9174,

**e-mail:** [dubkovvv.74@mail.ru](mailto:dubkovvv.74@mail.ru)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Salikhov Rinat F. – Cand. of Technical Science, Associate Professor at the Department of Operation of Oil and Gas and Construction Equipment, the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), the chief of the Center for Expertise and Diagnostics of Machines (5, pr. Mira, Omsk, 644050).

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9619-7789>,

**SPIN-code:** 3196-9174,

**e-mail:** [salikhorinat@yandex.ru](mailto:salikhorinat@yandex.ru)

Shutanov Ivan Al. - postgraduate student at the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (5, pr. Mira, Omsk, 644050).

**e-mail:** [temamontana97@mail.ru](mailto:temamontana97@mail.ru)

Dubkov Valery V. – Cand. of Technical Science, Associate Professor at the Department of Operation of Oil and Gas and Construction Equipment, the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), the chief of the Center for Expertise and Diagnostics of Machines (5, pr. Mira, Omsk, 644050).

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2480-7795>

**SPIN-код:** 3196-9174,

**e-mail:** [dubkovvv.74@mail.ru](mailto:dubkovvv.74@mail.ru)