

УДК 621.436

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-550-561>

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТНОЙ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК МАШИН, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

Р.Ф. Салихов\*, В.Н. Кузнецова, В.В. Дубков  
ФГБОУ ВО «СибАДИ»,  
г. Омск, Россия  
\*salikhorinat@yandex.ru

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Выполнение производственных и технологических процессов машин на обширной территории Российской Федерации связано с необходимостью их эксплуатации в условиях отрицательных температур. В статье рассматриваются результаты прикладных научных исследований факторов, оказывающих отрицательное влияние на процесс работы двигателей внутреннего сгорания при низких температурах окружающего воздуха. Использование современных методов и средств диагностики цилиндро-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма двигателя позволяют достоверно установить причины отказов двигателей.

**Материалы и методы.** В ходе выполнения экспериментальных исследований использовались метод неразрушающего контроля, органолептический, измерительный, экспертный методы.

**Результаты.** В результате комплексной оценки причин отказов двигателей было установлено, что нарушения в применении несоответствующих эксплуатационных материалов при низких температурах, мероприятий по подготовке к пуску дизель-генераторных установок явились основной причиной несвоевременного запуска и появления дефектов элементов цилиндро-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма, в итоге приведшие к аварийному выходу из строя двигателей внутреннего сгорания.

**Обсуждение и заключение.** Предложенные результаты исследований позволят конкретизировать перспективы развития в области обеспечения надежности эксплуатации двигателей внутреннего сгорания.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** двигатель внутреннего сгорания, холодный климат, отрицательные температуры, диагностика, надежность.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Авторы выражают благодарность редакции журнала «Вестник СибАДИ» и рецензентам статьи.

Поступила 03.06.20, принята к публикации 23.10.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Салихов Р.Ф., Кузнецова В.Н., Дубков В.В. Анализ результатов экспертной диагностики силовых установок машин, эксплуатируемых в зимних условиях. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (5): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-5-550-561>

© Салихов Р.Ф., Кузнецова В.Н., Дубков В.В.



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-5-550-561>

## EXPERT ASSESSMENT RESULTS ANALYSIS OF MACHINES POWER UNITS IN WINTER CONDITIONS

Rinat F. Salikhov\*, Victoria N. Kuznetsova, Valerii V. Dubkov  
Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),  
Omsk, Russia  
\*salikhorinat@yandex.ru

### ABSTRACT

**Introduction.** The implementation of production and technological processes of machines on the vast territory of the Russian Federation is related to the necessity to operate them in low temperatures conditions. The article presents the results of the applied scientific research of the factors that have a negative impact on the operation process of internal combustion engines at low ambient temperatures. The use of the modern methods and means of diagnostics of the cylinder-piston group and the crank- engine mechanism make it possible to reliably establish the causes of the internal combustion engines failures.

**Materials and methods.** In the course of the experimental studies the non-destructive testing, organoleptic, measuring and expert methods were used.

**Results.** As a result of a comprehensive assessment of the engine failures causes, it was found that the breakdowns in the use of inappropriate operating materials at low temperatures, measures to prepare for the launch of diesel generator sets were the main reason for untimely start-up and the faults in cylinder-piston group and the crank mechanism elements, which led to emergency failure of the internal combustion engine.

**Discussion and conclusion.** The proposed research results will make it possible to specify the development prospects in the field of providing the reliability of internal combustion engines operation.

**KEYWORDS:** Internal combustion engine, cold climate, low temperatures, diagnostics, reliability.

**GRATITUDES.** The authors express their gratitude to the Russian Automobile and Highway Industry Journal editorial staff and the reviewers of the article.

**Submitted 03.06.20, revised 23.10.2020.**

**The 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:* Rinat F. Salikhov, Victoria N. Kuznetsova, Valerii V. Dubkov. Expert assessment results analysis of machines power units in winter conditions. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (5): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-5-550-561>

© Salikhov R.F., Kuznetsova V.N., Dubkov V.V.



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

## ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях работы предприятий строительной отрасли важным является повышение эффективности использования основных фондов и в первую очередь машин и оборудования. При этом основное направление развития строительного производства заключается в непрерывном подъеме уровня механизации и автоматизации производственных процессов за счет внедрения современных, прогрессивных технологий, что связано с применением все более сложных машин, их специализированных комплектов, технологических комплексов и систем их управления.

Одной из таких многочисленных проблем является эксплуатация машин в зонах умеренно-холодного климата, какими являются районы Сибири и Дальнего Востока, и в экстремальных климатических условиях Крайнего Севера и Арктики [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 12].

В настоящее время одним из актуальных вопросов эксплуатации двигателей внутреннего сгорания строительных машин и оборудования является сокращение ущерба от вынужденных внезапных отказов. Особенно высокая вероятность поломок наблюдается в послеремонтный период. Основными причинами их возникновения являются применение неоригинальных деталей, не отвечающих заданным нагрузкам, несоблюдение технологии проведения ремонта, неполный перечень выполняемых контрольно-измерительных операций в ходе проведения диагностики и ремонта, нарушение правил технической эксплуатации, особенно усугубляющихся в условиях низких температур. Как правило, при соблюдении режимов технической эксплуатации возникновения внезапных отказов резко сокращается.

Эксплуатация двигателей машин в условиях холодного климата и отрицательных температур окружающего воздуха связана с наличием [13, 14, 15] ухудшения условий самовоспламенения и смесеобразования дизельного топлива; увеличением вязкости моторного, трансмиссионного масел и рабочих жидкостей; возрастанием момента сопротивления проворачиванию коленчатого вала двигателей.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для работы машин на строительных площадках различных отраслей промышленности, при строительстве и ремонте трубопро-

водов, работе землеройной техники, бурении грунтов используются дизель-генераторные установки. Строительные машины и оборудование, работающие от автономной электросети, могут простаивать по причине потери исправного или работоспособного состояния дизель-генераторных установок (рисунок 1), особенно при работе в условиях низких температур. Поэтому важным является проведение качественной оценки их технического состояния.



Рисунок 1 – Дизель-генераторная установка Caterpillar 3512

Figure 1 – Caterpillar 3512 Diesel Generator Set

Исследованный тип поршня комбинированный: головка изготовлена из стали, юбка – из чугуна, материал гильзы – чугун. Для охлаждения и измерений размеров деталей цилиндра-поршневой группы после охлаждения использовалась климатическая камера «Климат CM-75/180-120 TX» (рисунок 2), пирометр Raytek ST25, микрометр МК 150-175 0,01, нутромер микрометрический НМТ-3-6 0,001.



Рисунок 2 – Климатическая камера

Figure 2 – Climatic chamber

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Было установлено, что в случае нарушения эксплуатационных требований в зимних

условиях и из-за влияния неблагоприятных климатических факторов могут возникнуть следующие неисправности и отказы:

- частичная или полная разморозка двигателя;
- осмоление деталей двигателей во время их непрерывной работы при низких отрицательных температурах;
- появление трещин в головке цилиндров на стенках кожухов охлаждения двигателя из-за внезапного изменения температуры и проявления тепловых напряжений;
- износ или поломка зубчатых колес и других частей зубчатых колес стартера;
- внезапный выход из строя двигателя и стартера из-за перегрузки или увеличения времени запуска;
- увеличение отложений накипи с частой заменой охлаждающей жидкости;
- прекращение подачи топлива из-за образования парафиновых отложений в трубах и фильтрах системы подачи топлива;
- уменьшение плотности электролита, уменьшение емкости аккумуляторных батарей, появление трещин в крышке и в корпусе батареи, разрушение положительного и отрицательного электродов;
- разрушение резиновых и пластиковых деталей;
- выход из строя деталей редукторов из-за отвердения жира и повышенной нагрузки;
- поломка узлов и деталей ходовой части из-за забивания снегом и льдом;
- повышение интенсивности изнашивания цилиндро-поршневой группы при пусках двигателя.

Так, в частности, авторами статьи был проведен анализ причин внезапных отказов дизель-генераторной установки Caterpillar 3512. Послеремонтная продолжительность эксплуатации исследуемых дизель-генераторных установок составила 5 месяцев, в том числе 2 месяца – при низких температурах окружающего воздуха. Для установления конкретных причин отказа двигателя внутреннего сгорания дизель-генераторной установки Caterpillar 3512 в условиях ее использования при низких температурах окружающего воздуха была проведена его экспертная диагностика.

Для экспертного исследования были представлены гильзы и поршни трех двигателей дизель-генераторной установки марки Cat 3512, часть из которых представлена на рисунках 3, 4.



Рисунок 3 – Гильзы одного из ДВС дизель-генераторной установки Caterpillar 3512

Figure 3 – Sleeves of Caterpillar 3512 Diesel Generator Set



Рисунок 4 – Поршни дизель-генераторной установки Caterpillar 3512

Figure 4 – Pistons of Caterpillar 3512 Diesel Generator Set

В ходе проведения органолептической и измерительной экспертизы гильз цилиндров были выявлены следы коррозии и налёт с их внешней стороны. На внутренней полости обнаружены локальные задиры по всей поверхности в области сопряжения гильзы и юбки поршня (рисунок 5). Имелись повреждения уплотнительных колец (расслоение и их удлинение вследствие термических воздействий). Выявлены прижоги в области юбки поршня и сопряжённой с ней поверхностью гильзы.



Рисунок 5 – Задирки на юбке поршня и внутренней полости гильзы

Figure 5 – Scuffings on the piston skirt and inner cavity of the sleeve

Обнаружены залегания поршневых колец, наблюдался нагар на огневом поясе, поломка маслосъёмных колец.

Для измерения внутренних диаметров гильз использовался нутромер НМ 75-175 0.01. Измерения производились по стандартной методике (рисунок 6).



Рисунок 6 – Положение нутромера при замерах внутренних диаметров гильз цилиндров

Figure 6 – The position of the inside gauge when measuring the inner diameters of the sleeves

В результате анализа величины износа неповрежденных сопряжений цилиндро-поршневой группы выяснилось, что средний зазор составляет 0,27 мм, максимальный 0,34 мм. Учитывая то, что номинальный зазор при сборке сопряжения «поршень – гильза цилиндра» должен находиться в диапазоне 0,17 ... 0,25 мм, можно сделать вывод о том, что исследуемые двигатели были собраны после ремонта с учетом требуемых допусков и поэтому отработали после ремонта достаточно продолжительный срок без поломок. Зазоры в цилиндрах вышли за установочные пределы, но при этом имеют достаточный запас по ресурсу до окончания текущего межремонтного цикла.

Однако разность степени изнашивания цилиндро-поршневой группы по отдельным цилиндрам превышает 30%, что свидетельствует о неравномерном износе и требует в дальнейшем большего внимания при их ди-

агностировании в ходе эксплуатации. Максимальная разность диаметров (овальность) некоторых гильз в двух взаимно перпендикулярных плоскостях составляет от 0,9 до 0,1 мм, что является недопустимым для их дальнейшего применения.

Измерения внутренних диаметров гильз, наружных диаметров поршней позволили определить зазоры цилиндро-поршневой группы в верхнем, среднем и нижнем поясах (рисунок 7). Граница верхнего пояса расположена на расстоянии 10 мм от верхнего торца гильзы; нижнего – на расстоянии 10 мм от нижнего торца гильзы; граница среднего пояса – середина гильзы цилиндра.

Установлено, что из общего количества только 44% имеют типичную картину износа. У остальных наблюдается такая динамика: 17% – одинаковый износ во всех поясах, 28% – наибольший износ в среднем поясе, 5% – наибольший износ в нижнем поясе (рисунок 7).

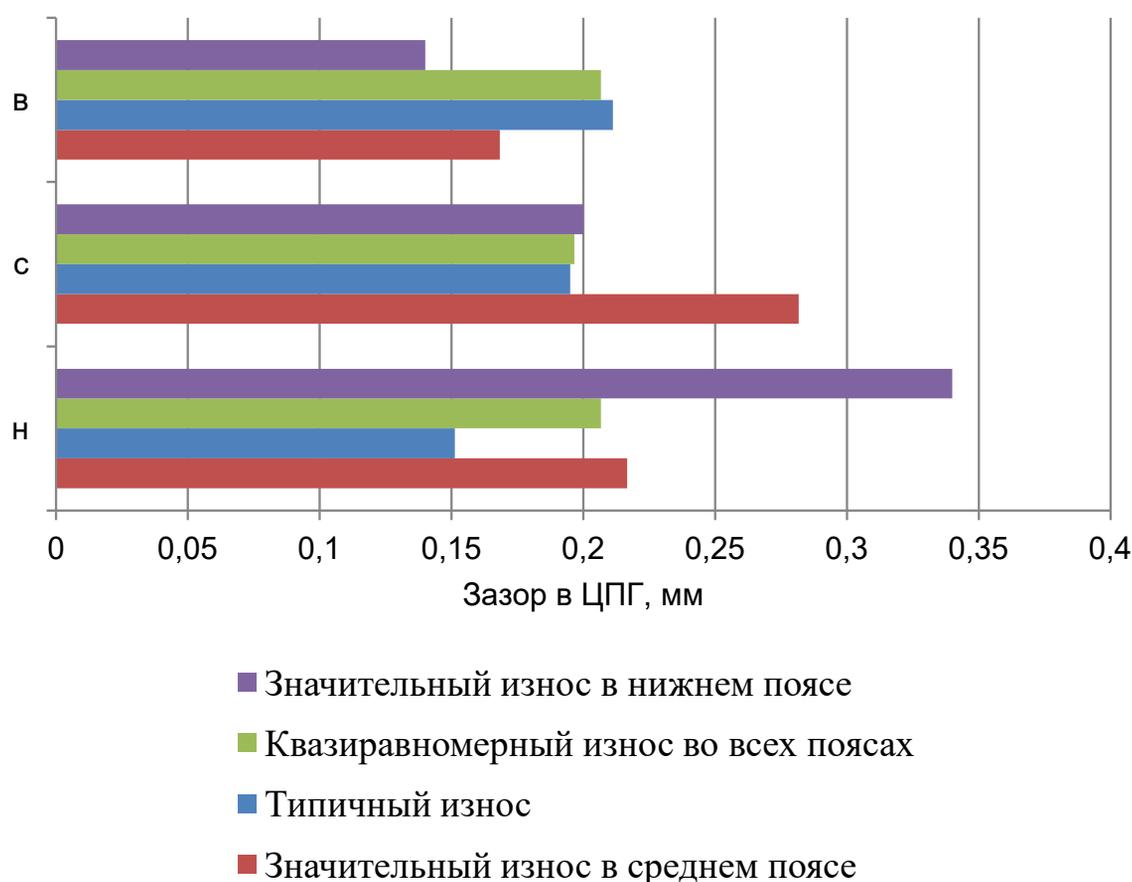


Рисунок 7 – Динамика изменения зазоров цилиндро-поршневой группы

Figure 7 – Dynamics of changes in the clearances of the cylinder-piston group

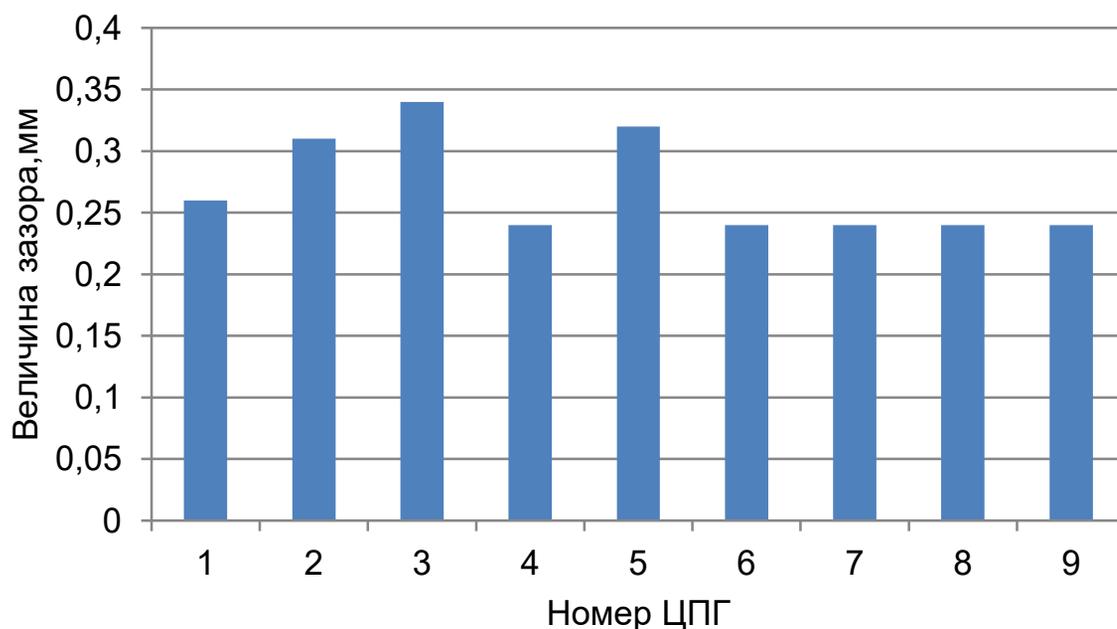


Рисунок 8 – Величины зазоров цилиндро-поршневой группы

Figure 8 – Clearance values of the cylinder-piston group

Как правило, наибольшей величине износа подвергается верхний пояс гильзы. Однако это не всегда наблюдается исходя из результатов проведенных измерений. Ниже приведены величины зазоров исследованных цилиндро-поршневой группы (рисунок 8).

Такие вариации динамики изнашивания в верхнем, среднем и нижнем поясах цилиндро-поршневой группы указывают на различные причины их происхождения (см. рисунок 7). В числе прочих факторов, влияющих на изнашивание деталей цилиндро-поршневой группы, следует отметить несоблюдение правил пуска двигателя при низких температурах окружающего воздуха. Как правило, при резких перепадах температур дизельные двигатели тяжело запускаются. В рассматриваемом случае эксплуатанты прибегали к применению

легковоспламеняющихся пусковых жидкостей, нарушая при этом как количество впрыскиваемой жидкости, так и не учитывая тип двигателя (бензиновый или дизельный), для которого они разработаны.

Применение неоригинальных деталей или использование более дешевого материала для их изготовления также влияет на физико-механические свойства цилиндро-поршневой группы. Однако при этом необходимо учитывать коэффициенты линейного сжатия при воздействии низких температур. Для проверки оригинальности материалов деталей авторы провели испытания для оценки влияния низких температур на зазоры в цилиндро-поршневой группе одного из исследуемых цилиндров (рисунок 9, таблица).



Рисунок 9 – Замеры охлажденных поршня и гильзы

Figure 9 – Measurements of the cooled piston and sleeve

Таблица  
Результаты измерений деталей цилиндро-поршневой группы  
после охлаждения в климатической камере

Table  
Measurement results of cylinder-piston groupparts  
after freezing in a climatic chamber

T, °C	Диаметр гильзы, мм		Диаметр юбки поршня, мм	Зазор, мм
	B	90°		
+ 20	B = 170,1	90° = 170,1	169,84	0,26
	C = 170,1	90° = 170,1	169,84	0,26
	H = 170,1	90° = 170,0	169,84	0,26
- 35	B = 169,82	90° = 169,83	169,78	0,05
	C = 169,88	90° = 170,05	169,78	0,1
	H = 169,84	90° = 169,92	169,78	0,06

Анализ внутренних диаметров гильзы при температуре + 20°C свидетельствует об их соответствии нормативным величинам заданного герметического параметра, т.е. не менее 169,75 мм. При изменении температуры происходит значительное уменьшение зазора на 0,16...0,21 мм, что создает предпосылки для образования дефектов при пусках, усугубляемых применением некондиционных моторных масел. Анализируя полученные данные также следует обратить внимание на разную степень изменения диаметра гильзы в различных поясах под воздействием низких температур.

В ходе анализа различных факторов выяснилось, что основной причиной, повлиявшей на внезапный отказ дизель-генераторных установок, явилось применение масла по классификации SAE 15W40, непригодного к использованию при температуре - 42° С. Дополнительно ухудшило ситуацию применение антифриза с температурой застывания - 40° С: повысилась нагрузка на пневмостартер, снизилась частота вращения коленчатого вала двигателя. Указанные нарушения в применении несоответствующих эксплуатационных материалов при низких температурах, мероприятий по подготовке к пуску дизель-генераторных установок явились основными причинами несвоевременного запуска и появления дефектов в виде задиров цилиндрично-поршневой группы и элементов кривошипно-шатунного механизма и в итоге привели к аварийному выходу из строя двигателей внутреннего сгорания.

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, приведенные исследования, помимо установления причин поломок и отказов, позволяют на раннем этапе послеремонтной наработки определить комплекс мероприятий, направленный на повышение надежности силовых установок машин, в том числе дизель-генераторных установок.

Полученные результаты динамики изменения зазоров в верхнем, среднем и нижнем поясах цилиндрично-поршневой группы, неравномерности скорости их увеличения позволяют сделать вывод о том, что в начале послеремонтного этапа эксплуатации необходимо особое внимание уделять вопросам технической диагностики по таким параметрам, как пульсация картерных газов, ускорение свободного разгона при поочередном отключении цилиндров, относительная токовая компрессия и другим. Такой подход позволит своевременно обнаружить неисправности отдельных элементов, что не всегда выявляется инте-

гральными, обобщенными диагностическими параметрами (измерением мощности, определением часового расхода топлива и другими).

По рекомендациям фирмы Caterpillar применение вязких моторных масел оправдано при круглосуточной эксплуатации оборудования, так как обеспечивает достаточную толщину масляного клина. Однако при использовании машин и оборудования в условиях низких температур окружающего воздуха масляные поддоны двигателей должны быть оснащены средствами разогрева, обеспечивающими надежный пуск и высокий уровень вероятности безотказной работы в течение дальнейшей эксплуатации [26].

Внедрение предлагаемых мероприятий повысит надежность машин, оборудования, снизит аварийность при их эксплуатации в условиях низких температур. Соблюдение правил технической эксплуатации двигателей внутреннего сгорания позволит избежать значительных издержек, связанных с устранением аварийной ситуации, простоев техники.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вашуркин И.Ю. Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой. Санкт-Петербург, Наука, 2002. 145 с.
2. Николаев Л.А., Сташкевич А.П., Захаров И.А. Системы подогрева тракторных дизелей при пуске. Москва, Машиностроение, 1977. 191 с.
3. Wu H., Zhang L. The Optical Investigation on Initial Flame Developing Characteristics of Diesel Jet under Cold Start Conditions // Combustion Science and Technology. Jan 2020. DOI:org/10.1080/00102202.2019.1709829.
4. Milojevic S., Pesic R. Determination of Combustion Process Model Parameters in Diesel Engine with Variable Compression Ratio // Journal of Combustion. Volume 2018. Article ID 5292837. DOI:org/10.1155/2018/5292837.
5. Девянин С. Н., Марков В. А. Топливо утяжелённого состава и пуск дизеля // Автомобильная промышленность. 2003. № 5. С. 10-12.
6. Hamouda L.B., Ayadi M.A. Fuzzy fault tolerant predictive control for a diesel engine air path (Article) // International Journal of Control, Automation and Systems. Institut de Recherche en Systemes Electroniques Embarqués (IRSEEM), BP 10024, Avenue Galilee, Rouen, France. 2016. Vol. 14. Iss. 2. 1 Pp. 443-451.
7. Камалудинов В.Г., Марков В.А. Холодный пуск двигателя. Результаты исследования процессов подачи и распыливания топлива // Автомобильная промышленность. 2010. № 9. С. 9-11.
8. Shayler J., Leong D., Murphy M. Contributions to engine friction during cold, low-speed running and the dependence on oil viscosity // SAE Paper 2005-01-1654, 2005. E 2003, Fall Technical Conference.

9. Zhong L., Henein N. A Mathematical Model for the Cranking Period in the Cold Start of Diesel Engines // Conference: ASME 2003 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. January 2003. DOI: 10.1115/IMECE2003-43990.
10. Liu H., Henein N., Bryzik W. Simulation of Diesel Engines Cold-Start // Conference: ASME 2003 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. January 2003. DOI:10.4271/2003-01-0080.
11. Vivegananth M., Ramesh A. A novel method to improve the cold starting ability of a low compression ratio diesel engine through recompression of the charge // SAGE Journals. 2018. Volume 233. issue 7, pp. 1735-1749. DOI:org/10.1177/0954407018785009.
12. Ramadhas, AS, Xu, H. Improving cold start and transient performance of automotive diesel engine at low ambient temperature. SAE technical paper 2016-01-0826, 2016.
13. Shi Z., Lee C., Wu H., Li H. Effect of injection pressure on the impinging spray and ignition characteristics of the heavy-duty diesel engine under low-temperature conditions // Applied Energy. Volume 26215. March 2020. Article 114552. doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114552.
14. Park J.K. Simulation of starting process of diesel engine under cold condition // International Journal of Automotive Technology. 2007. № 3. Vol. 8. Pp. 289-298.
15. Nagano S., Kawazoe H., Ohsava K. Effect of fuel atomization on startability of engine with flight direction control fuel injector. // JSAE Rev. 1990. 11. № 2. Pp. 77-80.
16. Mourelatos Z. P. An Efficient Journal Bearing Lubrication Analysis For Engine Crankshafts // Tribology Transactions. 2003. Vol. 44. №3. Pp. 351-358.
17. Pastor J. V., García-Oliver J. M., Pastor J. M. Ignition and combustion development for high speed direct injection diesel engines under low temperature cold start conditions // Fuel. 2011. Vol. 90. Iss. 4 Pp. 1556-1566. DOI: org/10.1016/j.fuel.2011.01.008.
18. Купершмидт В.Л. Средства облегчения пуска двигателей в холодных условиях // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2001. № 1. С. 30-32.
19. Карташевич А.Н., Кухаренок Г.М., Горденко А.В., Разинкевич Д.С. Улучшение пусковых качеств автотракторных дизелей в зимний период эксплуатации. Минск, 2005. 180 с.
20. Денисов А.С., Данилов И.К. Влияние условий смазки на толщину масляного слоя в шатунных подшипниках дизельного двигателя // Вестник СГТУ. 2005. № 4 (9). С. 57-60.
21. Патрахальцев Н.Н., Сеницын А.К., Бадеев А.А. Возможности форсирования дизеля изменением физико-химических свойств топлива // Строительные и дорожные машины. 2005. № 3. С. 33-35.
22. Неговора А. В. Совершенствование системы предпусковой подготовки автотракторных дизелей в условиях низких температур // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 5. С. 49-50.
23. Гальянов И. В. Новый способ запуска двигателя в холодное время года // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2007. № 11. 10 с.
24. Денисов А. С. Обеспечение надежности автотракторных двигателей. Саратов: СГТУ. 2007. 422 с.
25. Патрахальцев Н.Н., Фомин А.В., Валеев Д.Х. Повышение эффективности холодного пуска дизеля // Двигателестроение. 1995. № 2. С. 79-80.
26. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию. Эксплуатационные жидкости для машин Caterpillar. 2010. 178 с.

## REFERENCES

1. Vashurkin I.YU. *Teplovaya podgotovka i pusk DVS mobil'nyh transportnyh i stroitel'nyh mashin zimoj: monografiya* [Thermal preparation and start-up of ICE of mobile transport and construction vehicles in winter: monograph.] SPb, Nauka, 2002: 145 p. (in Russian)
2. Nikolaev L.A., Stashkevich A.P., Zaharov I.A. *Sistemy podogreva traktornyh dizelej pri puske: monografiya* [Heating systems for tractor diesel engines at start-up: monograph.] Moscow, Mashinostroenie, 1977. 191 p. (in Russian)
3. Wu H., Zhang L. The Optical Investigation on Initial Flame Developing Characteristics of Diesel Jet under Cold Start Conditions. *Combustion Science and Technology*. 2020. DOI: org/10.1080/00102202.2019.1709829.
4. Milojevic S., Pesic R. Determination of Combustion Process Model Parameters in Diesel Engine with Variable Compression Ratio // *Journal of Combustion*. 2018. Article ID 5292837. DOI: org/10.1155/2018/5292837.
5. Devyanin S. N., Markov V. A. *Toplivo utyazhelyonnogo sostava i pusk dizelya* [Weighted fuel and diesel start] *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2003. № 5. Pp. 10-12. (in Russian)
6. Hamouda L.B., Ayadi M.A. Fuzzy fault tolerant predictive control for a diesel engine air path (Article). *International Journal of Control, Automation and Systems*. Institut de Recherche en Systemes Electroniques Embarqués (IRSEEM), BP 10024, Avenue Galilee, Rouen, France. 2016; 14 (2.1): 443-451.
7. Kamaltdinov V.G., Markov V.A. *KHolodnyj pusk dvigatelya. Rezul'taty issledovaniya protsessov podachi i raspylivaniya topliva* [Cold start of the engine. Results of the investigation of fuel supply and spraying processes]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2010; 9: 9-11. (in Russian)
8. Shayler J., Leong D., Murphy M. Contributions to engine friction during cold, low-speed running and the dependence on oil viscosity. *SAE Paper 2005-01-1654, 2005. E 2003, Fall Technical Conference*.
9. Zhong L., Henein N. A Mathematical Model for the Cranking Period in the Cold Start of Diesel Engines. *Conference: ASME 2003 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. 2003. DOI: 10.1115/IMECE2003-43990.

10. Liu H., Henein N., Bryzik W. Simulation of Diesel Engines Cold-Start // Conference: ASME 2003 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. January 2003. DOI: 10.4271/2003-01-0080.

11. Vivegananth M., Ramesh A. A novel method to improve the cold starting ability of a low compression ratio diesel engine through recompression of the charge // SAGE Journals. 2018. Volume 233. issue 7, pp. 1735-1749. DOI: org/10.1177/0954407018785009.

12. Ramadhas, AS, Xu, H. Improving cold start and transient performance of automotive diesel engine at low ambient temperature. SAE technical paper 2016-01-0826, 2016.

13. Shi Z., Lee C., Wu H., Li H. Effect of injection pressure on the impinging spray and ignition characteristics of the heavy-duty diesel engine under low-temperature conditions. *Applied Energy*. Vol. 26215. 2020. Article 114552. DOI: org/10.1016/j.apenergy.2020.114552.

14. Park J.K. Simulation of starting process of diesel engine under cold condition. *International Journal of Automotive Technology*. 2007; № 3 (8): 289-298.

15. Nagano S., Kawazoe H., Ohsava K. Effect of fuel atomization on startability of engine with flight direction control fuel injector. *JSAE Rev.* 1990; 11(2): 77-80.

16. Mourelatos Z. P. An Efficient Journal Bearing Lubrication Analysis For Engine Crankshafts. *Tribology Transactions*. 2003; 44(3): 351-358.

17. Pastor J. V., García-Oliver J. M., Pastor J. M. Ignition and combustion development for high speed direct injection diesel engines under low temperature cold start conditions. *Fuel*. 2011; 90(4): 1556-1566. DOI:org/10.1016/j.fuel.2011.01.008.

18. Kupersmidt V.L. *Sredstva oblegcheniya puska dvigatelej v holodnyh usloviyah* [Means of facilitating engine starting in cold conditions] *Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny*. 2001. 1. 30-32. (in Russian).

19. Kartashevich A.N., Kuharenok G.M., Gordeenko A.V., Razinkevich D.S. *Uluchshenie puskovykh kachestv avtotraktornykh dizelej v zimnij period ekspluatatsii: monografiya* [Improving the starting qualities of automotive diesel engines in the winter period of operation: a monograph.]. Minsk, 2005. 180 p. (in Russian).

20. Denisov A.S., Danilov I.K. Vliyanie uslovij smazki na tolshчину maslyanogo sloya v shatunnykh podshchipnikakh dizel'nogo dvigatelya [Influence of lubrication conditions on the thickness of the oil layer in the connecting rod bearings of a diesel engine] *Vestnik SGTU (Nadezhnost' mashin)*. 2005; 4(9): 57-60. (in Russian).

21. Patrahal'cev N.N., Sinicyn A.K., Badeev A.A. Vozmozhnosti siroirovaniya dizelya izmeneniem fiziko-himicheskikh svoystv topliva [Possibilities of boosting a diesel engine by changing the physicochemical properties of fuel] *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2005; 3: 33-35. (in Russian).

22. Negovora A. V. Sovershenstvovanie sistemy predpuskovoj podgotovki avtotraktornykh dizelej v usloviyah nizkikh temperatur [Improvement of the pre-start preparation system for automotive diesel engines at low temperatures] *Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny*. 2008; 5: 49-50. (in Russian).

23. Gal'yanov I. V. Novyj sposob zapuska dvigatelya v holodnoe vremya goda [A new way to start the engine in the cold season]. *Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny*. 2007. 11. 10. (in Russian)

24. Denisov A. S. Obespechenie nadezhnosti avtotraktornykh dvigatelej [Ensuring the reliability of automotive engines: monograph.] Saratov, SGTU, 2007. 422 p. (in Russian).

25. Patrahal'cev N.N., Fomin A.V., Valeev D.H. Povyshenie effektivnosti holodnogo puska dizelya [Improving the efficiency of cold start of a diesel engine] *Dvigatelsestroenie*. 1995; 2: 79-80. (in Russian).

26. Manual for operation and maintenance. Operational fluids for Caterpillar machines. Recommendations. 2010.178 p.

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

Салихов Р.Ф. Формулировка направления и темы исследования. Руководство процессом разработки темы. Выбор методологии и методов исследования (40%).

Кузнецова В.Н. Формулирование проблемы исследований. Постановка задач исследования. Обозначение алгоритма аналитических исследований (30%).

Дубков В.В. Обзор результатов предыдущих исследователей. Формулировка результатов и выводов (30%).

## AUTHORS' CONTRIBUTION

Rinat F. Salikhov. Study area and topics statement. Topic development manual. Methodology and research methods selection (40%).

Victoria N. Kuznetsova. Research issues statement. Research problem statement. Analytical research algorithm statement (30%).

Valerii V. Dubkov. A Previous researches review. Results and conclusions statement (30%).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ринат Фокилевич Салихов – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: salikhorinat@yandex.ru).

Виктория Николаевна Кузнецова – д-р техн. наук, проф., Scopus Author ID 8671569200, проф. кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в

строительстве» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).

Валерий Витальевич Дубков – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: dubkovvv.74@mail.ru).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Rinat F. Salikhov – Cand. of Sci., Associate Professor, Maintenance and operation of transport and technological machines and complexes in construction Department, Federal State Budgetary Educational

Institution of Higher Education Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (644080, Omsk, Mira ave. 5. e-mail: salikhorinat@yandex.ru).

Victoria N. Kuznetsova – Dr. of Sci., Professor, Scopus Author ID 8671569200, Maintenance and operation of transport and technological machines and complexes in construction Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), (644080, Omsk, Mira ave., 5 e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).

Valerii V. Dubkov – Cand. of Sci., Associate Professor, Maintenance and operation of transport and technological machines and complexes in construction Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (644080, Omsk, Mira ave. 5. e-mail: dubkovvv.74@mail.ru).