

**К.Г. Пугин<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия<sup>2</sup>Пермский государственный аграрно-технологический университет  
имени академика Д.Н. Прянишникова, Пермь, Россия

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОСИСТЕМ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН**

Гидросистема современных строительно-дорожных машин является сложной системой, в состав которой входит большое количество элементов. Анализ работы гидросистем показывает, что надежность систем и компонентов зависит от значительного числа факторов, которые часто взаимосвязаны между собой. К ним можно отнести параметры окружающей среды, свойства использованных материалов, износ, динамические нагрузки, продолжительность эксплуатации, а также регламент по техническому обслуживанию. Как показывает статистика, порядка 60 % отказов гидросистем связано с загрязнением рабочей жидкости. Источники загрязнения могут быть внутренние и внешние. Повышения надежности гидравлических систем строительно-дорожных машин можно достичь на этапе проектирования путем внесения изменений в их конструкцию или во время эксплуатации на основе мониторинга рабочих параметров системы, оперативно изменяя регламент проведения технического обслуживания. Показано, что расположение и количество датчиков, регистрирующих уровень загрязнения гидравлической жидкости, необходимо научно обосновывать. Представленные в статье исследования позволяют сделать вывод о возможном формировании застойных зон в удаленных узлах гидросистемы.

Важным результатом этого исследования является то, что динамические данные, собранные встроенными датчиками частиц, могут дать недостоверную информацию о состоянии всей гидросистемы.

Оценка современных методов технической эксплуатации позволила выявить приоритетное условие, которое позволит перейти от диагностической оценки к прогностической. Конструктивно это возможно достичь за счет использования счетчиков частиц, встроенных в магистрали гидросистем строительно-дорожных машин. Основное внимание при обнаружении загрязнения следует уделять металлическим частицам, таким как Cu и Fe, поскольку они рассматриваются как индикаторы разрушений (истирания) ключевых элементов гидросистем.

Обосновано, что установка встроенных счетчиков частиц загрязнения дает возможность мониторинга гидравлических систем в режиме реального времени, они имеют ограничения по своей точности в зависимости от вида движения жидкости (турбулентный, ламинарный), места установки регистратора частиц, метода регистрации частиц.

**Ключевые слова:** строительно-дорожные машины, гидропривод, надежность, техническая эксплуатация, гидравлическая рабочая жидкость.

**K.G. Pugin<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation<sup>2</sup>Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov,  
Perm, Russian Federation

## **RELIABILITY IMPROVEMENT OF HYDRAULIC SYSTEMS OF ROAD CONSTRUCTION MACHINES**

Hydraulic system of modern road construction machines is a complex system, which includes a large number of components. Analysis of the operation of hydraulic systems shows that the reliability of the systems and their components depends on a large number of factors, which are often interrelated. These include environmental parameters, properties of the materials used, wear, dynamic loads, duration of operation, as well as maintenance regulations. As statistics show, about 60% of hydraulic system failures are associated with contamination of the working fluid. Sources of pollution can be internal and external. Reliability improvement of hydraulic systems of road construction machines can be achieved at the design stage by making changes to their design, or at the operation stage by monitoring the operating parameters of the system, promptly changing the maintenance schedule. It is shown that the location and number of sensors recording the level of contamination of hydraulic fluid must be scientifically substantiated. The studies presented in the article allow us to make a conclusion about the possible formation of stagnant zones in remote nodes of the hydraulic system.

An important result of this research is that dynamic data collected by the built-in particle sensors can provide inaccurate information about the condition of the entire hydraulic system.

Evaluation of modern methods of technical exploitation made it possible to identify a priority condition that will allow the transition from diagnostic to predictive assessment. Structurally, this can be achieved through the use of particle counters built into the main lines of hydraulic systems of road construction machines. When detecting contamination, the main focus should be on metal particles such as Cu and Fe, since they are considered as indicators of destruction (abrasion) of key elements of hydraulic systems.

It has been substantiated that the installation of built-in contamination particle counters makes it possible to monitor hydraulic systems in real time; they have limitations in their accuracy depending on the type of fluid movement (turbulent, laminar), the location of the particle recorder, and the particle registration method.

**Keywords:** road construction machines, hydraulic drive, reliability, technical operation, hydraulic working fluid.

Строительно-дорожные машины (СДМ) проектируются и производятся в соответствии с требованиями заказчика. Планируется, что такие дорогостоящие машины, как строительная техника, будут иметь продолжительный срок службы (от 10 лет и более). Предприятия строительного сектора эксплуатируют СДМ комплектами, сформированными по виду выполняемых работ (землеройные, транспортные, грузоподъемные и т.д.), что повышает производственную эффективность. Большинство СДМ имеет в своей конструкции гидросистему, с помощью которой осуществляется управление рабочим органом и передвижение машины. Гидросистема современных СДМ является сложной системой, в состав которой входит большое количество элементов. Анализ работы гидросистем показывает, что надежность систем и компонентов зависит от большого количества факторов, которые часто взаимосвязаны между собой. К ним можно отнести параметры окружающей среды, свойства использованных материалов, износ, динамические нагрузки, продолжительность эксплуатации, а также регламент по техническому обслуживанию. Как показывает статистика, порядка 60 % отказов гидросистем связано с загрязнением рабочей жидкости. Источники загрязнения могут быть внутренние и внешние. Повышения надежности гидравлических систем СДМ можно достичь на этапе проектирования путем внесения изменений в их конструкцию или во время эксплуатации на основе мониторинга рабочих параметров системы, оперативно изменяя регламент проведения технического обслуживания.

Техническое обслуживание гидросистем СДМ является важной частью затрат в экономических издержках предприятий, эксплуатирующих СДМ. Расходы на обслуживание техники могут составлять 30–40 % от общих эксплуатационных расходов [1]. Причиной столь существенных затрат является отсутствие систем оперативного контроля технического состояния элементов гидросистем. Существующие регламенты технического обслуживания нацелены на обеспечение заданного производителем ресурса работы машины в усредненных условиях нагружения.

Однако не всегда можно запланировать, что строительная техника будет требовать в течение многих лет, особенно когда условия, в которых работает машина, и виды выполняемой ею работы многообразны. В результате техническое обслуживание по гарантии в настоящее время является важной частью бюджетов для предприятий – производителей СДМ [2]. Компании стремятся решить эту проблему за счет уменьшения сложности и неопределенности, которые в настоящее время существуют при планировании технической эксплуатации СДМ. Более широкий сбор и обработка данных о состоянии отдельных узлов и элементов гидросистем в реальном времени должны позволить им проводить точную оценку состояния машины в полевых условиях (до его возвращения на предприятие для проведения технического обслуживания и ремонта).

Исследования в области разработки новых и совершенствования существующих методик технического обслуживания гидравлических систем мало освещены в научной литературе [3]. В этой связи разработка новых подходов к повышению надежности СДМ за счет внедрения динамического сбора данных по состоянию гидросистемы является актуальной научной задачей.

Повысить надежность гидравлических систем СДМ возможно за счет использования в ее составе качественных (надежных) элементов, обоснованной компоновки самой гидросхемы и применения передовых методов технического обслуживания.

В России для нормирования технического обслуживания СДМ используется методика планово-предупредительного ремонта (ППР), которая на основе статистических данных по отказам позволяет разработать регламент по проведению обслуживания и замены элементов, входящих

в гидросистемы. Система ППР надежно работает при массовом обслуживании однотипного оборудования, работающего с допустимой по величине и времени нагрузкой. Однако в настоящее время ввиду большой номенклатуры строительных машин, обособленности и раздробленности предприятий, занимающихся эксплуатацией СДМ, производители машин практически не получают информацию об отказах и причинах их появления. Ведущие зарубежные производители СДМ при продаже заключают с покупателем долгосрочные соглашения, которые часто включают в себя пакет обслуживания, и это, пожалуй, самый распространенный и эффективный способ обеспечения высокого уровня надежности СДМ, включая гидросистему [1]. Соглашение обеспечивает сбор данных о состоянии систем и условиях их эксплуатации, что позволяет вносить корректировки в конструкцию СДМ на этапе проектирования новых образцов. Продажа технического обслуживания или других услуг вместе с машиной в комплекте входит в методологию *Product-service system (PSS)*. Этот производственный подход был разработан в целях удовлетворения запросов и ожидания потребителей и снижения экономических затрат производителей [4, 5]. Организация строго регламентированного сбора статистических данных по отказам уменьшает издержки производства при создании новых продуктов и позволяет разработать рекомендации по продлению срока службы машин, находящихся в эксплуатации [6, 7].

Методология нормирования технического обслуживания, основанная на сборе и анализе причинно-следственных связей выхода из строя СДМ, имеет существенный недостаток, который заключается в низкой скорости получения информации. Для устранения данного недостатка крупные производители СДМ внедряют большое количество электронных датчиков, позволяющих создать условия оперативного контроля состояния гидравлических систем. Использование электронных измерительных устройств позволяет реализовать техническое обслуживание на основе анализа фактического состояния элементов гидросистемы (*Condition Based Maintenance – CBM*). Это наиболее прогрессивная система организации технической эксплуатации гидросистем СДМ в настоящее время. CBM предназначена для предотвращения возникновения неисправности. Техническое обслуживание и ремонт гидросистем производятся в зависимости от текущего состояния системы, контролируемого в процессе эксплуатации без каких-либо разборок и ревизий, на базе контроля и анализа установленных параметров. Это достигается отслеживанием и оценкой технического состояния объекта методами неразрушающего контроля или другими видами периодической диагностики. Действия по техническому обслуживанию выполняются только при необходимости. Диагностическая и прогностическая составляющие являются двумя важными компонентами в общей методологии CBM, где диагностика отвечает за обнаружение неисправностей, а прогностическая – за их предотвращение и выявление ухудшения состояния. Ключевыми процессами прогностического обслуживания являются сбор данных с датчиков, преобразование сигнала и анализ полученных данных. В целях повышения надежности гидросистем производители СДМ должны проектировать системы мониторинга как часть общего дизайна машины. Расположение и количество датчиков необходимо научно обосновывать, чтобы максимизировать полезные знания, которые они могут предоставить при анализе данных в реальном времени, и при этом минимизировать затраты, связанные с установкой и эксплуатацией датчиков.

Лидерами по использованию систем мониторинга состояния гидравлических систем в целях прогнозирования неисправностей в настоящее время являются *Caterpillar Inc. (CAT)*, *Komatsu Ltd.* и *JCBamford Excavators Ltd.*

Ведущие специалисты компании *CAT Ltd* утверждают, что ключевым индикатором потенциальных проблем с гидросистемой СДМ является концентрация твердых частиц износа в рабочей жидкости [2, 3, 8]. Для оценки степени загрязнения используется метод кодирования уровня загрязнения твердыми частицами (стандарт *ISO 4406*), который учитывает количество частиц размером 4 мкм, 6 мкм и 14 мкм на миллилитр жидкости. Производители гидравлических компонентов, такие как *BoschRexroth* и *Parker Hannifin*, для своих изделий устанавливают диапазон допустимых уровней загрязнения, основанный на внутренних зазорах и режимах работы [9–11]. Например, насосы и клапанные блоки, которые работают под высоким давлением

с малым зазором, как правило, требуют более высокого уровня чистоты. BoschRexroth рекомендует, чтобы уровень чистоты был достигнут на основе системных требований по эксплуатации гидросистемы. Для подсчета количества частиц в рабочей жидкости используют электронные датчики (магнитные, оптические или разностные) [12]. В самых современных автоматических счетчиках частиц используются лазеры [13]. Встроенные в гидросистему СДМ (штатно установленные) счетчики частиц позволяют собирать данные в реальном времени во время эксплуатации машины. При этом временное проникновение в гидросистему (подключение датчиков, подсоединение, отсоединение трубопроводов) не требуется, поэтому предотвращается поступление загрязнения извне [14].

Структурно гидравлическую систему СДМ можно представить в виде нескольких основных элементов: гидробак, насос, гидрораспределитель, гидроцилиндр или гидромотор (рисунок).

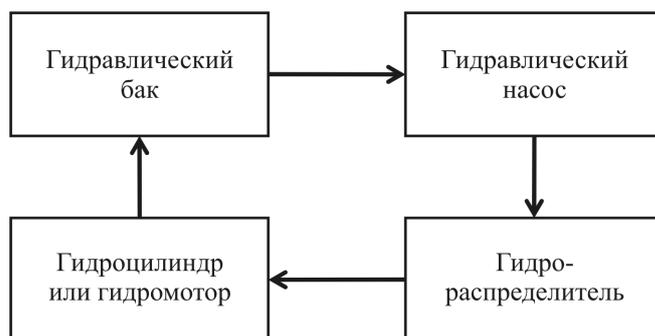


Рис. Структура гидравлической системы СДМ

Гидравлический бак выступает в роли накопителя рабочей жидкости, охладителя, очистительного устройства. Насос преобразует механическую энергию в гидравлическую, рабочая жидкость начинает двигаться с определенным давлением и подачей. Гидрораспределитель распределяет потоки рабочей жидкости по необходимым для работы машины направлениям. Гидроцилиндр или гидромотор преобразует гидравлическую энергию рабочей жидкости в механическую, приводя в движение рабочий орган машины. На каждом из вышеуказанных элементов возможно образование или поступление извне загрязнителя. Для однозначной оценки происходящих изменений чистоты рабочей жидкости необходимо правильно определить места установки стационарных счетчиков частиц или места забора проб для их последующего анализа в лаборатории. К примеру, Британский стандарт (BS), BS5540 «Оценка загрязнения гидравлических жидкостей частицами» определяет процедуры получения проб гидравлической жидкости из гидравлических систем. Отбор проб производят через предусмотренные заводом-изготовителем пробоотборные клапаны или из гидробака [15]. Однако, как показывают исследования, на точность подсчета количества частиц влияет вид движения жидкости (турбулентный, ламинарный), место установки регистратора частиц, метод регистрации частиц.

Современные методы диагностирования, основанные на подсчете частиц загрязнителя в рабочей жидкости, анализируют пробы, взятые из напорной линии. В меньшей степени уделяется внимание тупиковым узлам гидросистем, в которых возможно застаивание рабочей жидкости. Этот эффект проявляется при использовании длинных трубопроводов, идущих к гидроцилиндрам. Поршень гидроцилиндра совершает циклическое возвратно-поступательное движение. Если объем жидкости в трубопроводе, идущем от распределителя до гидроцилиндра, превышает объем поршневой или штоковой полости, то формируется застойная зона. Жидкость из поршневой или штоковой полости не участвует в общей циркуляции. Установка счетчика частиц в напорной магистрали не позволит фиксировать деградацию удаленного узла (гидроцилиндра).

С целью установления данного эффекта был проведен ряд заборов проб рабочей жидкости из разных магистралей. В качестве исследуемой гидросистемы выступила гидросистема авто-

грейdera компании HBM марка TG 190TA-4. Пробы рабочей жидкости для анализа забирались из гидроцилиндра управления основным отвалом и гидроцилиндра бульдозерного отвала. В ходе эксперимента были определены: кислотное число рабочей жидкости (согласно ГОСТ 5985); массовая доля механических примесей (согласно ГОСТ 6370); содержание свинца, железа, хрома (ГОСТ 17216). Данные металлы были выбраны ввиду их наличия в составе конструкции гидроцилиндров и отсутствия в составе рабочей жидкости. Полученные результаты представлены в таблице.

Лабораторных исследований проб рабочей жидкости автогрейdera

Наименование пробы	Кислотное число, мг КОН	Массовая доля механических примесей, %	Свинец, мг/кг	Железо, мг/кг	Хром, мг/кг
Гидроцилиндр основного отвала (поршневая полость)	0,58	0,92	2,36	9,27	0,07
Гидроцилиндр бульдозерного отвала (штоковая полость)	0,27	0,68	0,42	8,8	–

Анализ полученных данных позволяет сделать выводы об изоляции рабочей жидкости в удаленном узле от жидкости, циркулирующей в основном контуре гидросистемы. В пробах с гидроцилиндра бульдозерного отвала отсутствует хром, а доля свинца и железа меньше, чем в основном рабочем органе.

Важным результатом этого исследования является то, что динамические данные, собранные встроенными датчиками частиц, могут дать недостоверную информацию о состоянии всей гидросистемы.

Оценка современных методов технической эксплуатации позволила выявить приоритетное условие, которое позволит перейти от диагностической оценки к прогностической за счет использования счетчиков частиц, встроенных в магистрали гидросистемы СДМ.

Основное внимание при обнаружении загрязнения следует уделять металлическим частицам, таким как Cu и Fe, поскольку они рассматриваются как индикаторы разрушений (истирания) ключевых элементов гидросистем.

Несмотря на то что установка встроенных счетчиков частиц загрязнения дает возможность мониторинга гидравлических систем в режиме реального времени, они имеют ограничения по своей точности в зависимости от вида движения жидкости (турбулентный, ламинарный), места установки регистратора частиц, метода регистрации частиц.

Совершенствование методов диагностирования и проектирования гидрофицированных машин позволит повысить их надежность и долговечность, а также снизит количество непредвиденных отказов.

### Список литературы

1. Ганин А.Р., Самолазов А.В., Донченко Т.В. Стратегия развития и новая линейка карьерных экскаваторов производства ООО «ИЗ-КАР-ТЭКС имени П.Г. Коробкова» // Горная промышленность. – 2012. – № 4 (104). – С. 28–33.
2. Helwig N., Pignanelli E., Schultze A. Condition monitoring of a complex hydraulic system using multivariate statistics, 2015 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings. – Pisa, Italia, 2015. – P. 210–215.
3. Felix Ng., Jennifer A. Harding, Jacqueline Glass. Improving hydraulic excavator performance through in line hydraulic oil contamination monitoring // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2017. – No. 83. – P. 176–193.
4. Фокин А.С., Маркова А.Ю., Иванов С.Л. Совершенствование системы технического обслуживания горных машин // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: тр. 10-й Междунар. науч.-практ. конф. / Воркут. горн. ин-т. – Воркута, 2012. – С. 407–410.

5. Логвинов Л.М., Ковалев М.А., Хабло И.И. Повышение надежности гидравлических систем воздушных судов за счет анализа параметров частиц загрязнения рабочей жидкости // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2007. – № 1. – С. 196–200.
6. Чиликин А.А., Трушин Н.Н. Сравнительный анализ современных методов диагностики состояния гидравлических систем // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2014. – № 3. – С. 117–127.
7. Jardine A.K., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance // *Mechanical Systems and Signal Processing*. – Vol. 20, no. 7. – P. 1483–1510.
8. Ensemble of data-driven prognostic algorithms for robust prediction of remaining useful life Reliability / Chao Hu, Byeng D. Youn, Pingfeng Wang, Joung Taek Yoon // *Engineering & System Safety*. – 2012. – Vol. 103. – P. 120–135.
9. Increased Efficiency of Hydraulic Systems Through Reliability Theory and Monitoring of System Operating Parameters / M. Jovanović, D. Sević, V. Karanović, I. Beker, S. Dudić // *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*. – 2018. – Vol. 58, no. 4. – P. 281–288. DOI: <http://dx.doi.org/10.5545/sv-jme.2011.084>
10. Helwig A., Maier K. An Optoelectronic Monitoring System for Aviation Hydraulic Fluids // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 120. – P. 233–236.
11. Helwig N. Identification and Quantification of Hydraulic System Faults Based on Multivariate Statistics Using Spectral Vibration Features // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 120. – P. 1225–1228.
12. Chawathe S.S. Condition Monitoring of Hydraulic Systems by Classifying Sensor Data Streams // 2019 IEEE 9th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC). – Las Vegas, NV, USA, 2019. – P. 0898–0904. DOI: 10.1109/CCWC.2019.8666564
13. Blum K.H., Ellenrieder K. Validated Hydraulic Fluids for Increased Hydraulic Life // *ATZoffhighway worldwide*. – 2017. – Vol. 10, no. 1. – P. 50–55.
14. A state monitoring method of fire water supply system based on hydraulic pressure mean value / Z. Leiji, T. Huijiao, L. Liangliang, X. Yong // 2017 13th IEEE International Conference on Electronic Measurement Instruments (ICEMI). – P. 74–79.
15. Man Shan Kan, Andy C.C. Tan, Joseph Mathew. A review on prognostic techniques for non-stationary and non-linear rotating systems // *Mechanical Systems and Signal Processing*. – 2015. – Vol. 62–63. – P. 1–20.

#### References

1. Ganin A.R., Samolazov A.V., Donchenko T.V. Strategii razvitiia i novaia lineika kar'ernykh ekskavatorov proizvodstva OOO «IZ-KAR-TEKS imeni P.G. Korobkova» [Development strategy and a new line of mining excavators manufactured by “IZ-KAR-TEKS named after P.G. Korobkov”] *Gornaia promyshlennost'*, 2012, no. 4 (104), pp. 28–33.
2. Helwig N., Pignatelli E., Schultze A. Condition monitoring of a complex hydraulic system using multivariate statistics, *2015 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings*, 2015, Pisa, Italia, pp. 210–215.
3. Felix Ng., Jennifer A. Harding, Jacqueline Glass. Improving hydraulic excavator performance through in line hydraulic oil contamination monitoring, *Mechanical Systems and Signal Processing*, no. 83, 2017, pp. 176–193.
4. Fokin A.S., Markova A.Iu., Ivanov S.L. Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniia gornykh mashin [Improvement of the system of maintenance of mining machines] *Osvoenie mineral'nykh resursov Severa: problemy i resheniia*, 2012, pp. 407–410.
5. Logvinov L.M., Kovalev M.A., Khablo I.I. Povyshenie nadezhnosti gidravlicheskiikh sistem vozdushnykh sudov za schet analiza parametrov chastits zagriazneniia rabochei zhidkosti [Improving the reliability of aircraft hydraulic systems by analyzing the parameters of particles of contamination of the working fluid] *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aëro-kosmicheskogo universiteta*, 2007, no. 1, pp. 196–200.
6. Chilikin A.A., Trushin N.N. Sravnitel'nyi analiz sovremennykh metodov diagnostiki sostoiianiia gidravlicheskiikh sistem [Comparative analysis of modern diagnostic methods for the state of hydraulic systems] *Izvestiia TulGU. Tekhnicheskie nauki*, 2014, no. 3, pp. 117–127.
7. Jardine A.K., Lin D. and Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance, *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 20, no. 7, pp. 1483–1510.

8. Chao Hu, Byeng D. Youn, Pingfeng Wang, Joung Taek Yoon Ensemble of data-driven prognostic algorithms for robust prediction of remaining useful life Reliability, *Engineering & System Safety*, Volume 103, 2012, pp. 120–135.
9. Jovanović M., Sević D., Karanović V., Beker I., Dudić S. Increased Efficiency of Hydraulic Systems Through Reliability Theory and Monitoring of System Operating Parameters. *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*, 2018, vol. 58, no. 4, pp. 281–288. Doi: <http://dx.doi.org/10.5545/sv-jme.2011.084>.
10. Helwig A., Maier K. An Optoelectronic Monitoring System for Aviation Hydraulic Fluids// *Procedia Engineering*, Vol. 120, 2015, pp. 233–236.
11. Helwig N. Identification and Quantification of Hydraulic System Faults Based on Multivariate Statistics Using Spectral Vibration Features, *Procedia Engineering*, vol. 120 2015, pp. 1225–1228.
12. Chawathe S.S., "Condition Monitoring of Hydraulic Systems by Classifying Sensor Data Streams," *2019 IEEE 9th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, Las Vegas, NV, USA, 2019, pp. 0898–0904, doi: 10.1109/CCWC.2019.8666564.
13. Blum K.H., Ellenrieder K. Validated Hydraulic Fluids for Increased Hydraulic Life // *ATZoffhighway worldwide*. – 2017. – Vol. 10. – No. 1. – pp. 50–55.
14. Z. Leiji, T. Huijiao, L. Liangliang and X. Yong, "A state monitoring method of fire water supply system based on hydraulic pressure mean value", *2017 13th IEEE International Conference on Electronic Measurement Instruments (ICEMI)*, pp. 74–79.
15. Man Shan Kan, Andy C.C. Tan, Joseph Mathew. A review on prognostic techniques for non-stationary and non-linear rotating systems, *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 62–63, 2015, pp. 1–20.

Получено 27.07.20

#### Об авторе

**Пугин Константин Георгиевич** (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: 123zzz@rambler.ru); профессор Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д.Н. Прянишникова (614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23).

#### About the author

**Konstantin G. Pugin** (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: 123zzz@rambler.ru); Professor, Perm State Agrarian University of Technology named after Academician D.N. Pryanishnikov (23, Petropavlovskaya st., Perm, 614990, Russian Federation).