

Научная статья  
 DOI: 10.15593/24111678/2022.04.06  
 УДК 629.331

**А.А. Чистоклетов<sup>1</sup>, К.Г. Пугин<sup>2,3</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

<sup>3</sup>Пермский филиал Волжского государственного университета водного транспорта,  
 Пермь, Россия

## **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ**

На сегодняшний день в быстроразвивающемся мире постоянно увеличивается количество используемой строительно-дорожной техники. Гидравлические системы, применяемые в конструкции, постоянно усложняются, стоимость обслуживания техники возрастает. Рассматриваются методы диагностики технического состояния элементов гидропривода строительно-дорожных машин. Существуют субъективные и объективные методы контроля технического состояния гидропривода. На основе одного из рассмотренных методов планируется разработка методики диагностирования отдельных элементов гидропривода в условиях эксплуатации. В любой гидравлической системе существует элемент, который генерирует импульсы, есть элементы, которые совершают возвратно-поступательное движение. Любой из этих элементов может быть источником вибрации в различных диапазонах. В ходе проведения исследовательской работы по изучению возможности проведения оценки технического состояния гидросистем строительных и дорожных машин использован прибор для измерения вибрации «Диана-8».

Планируется разработать методику по оценке технического состояния элементов гидропривода по параметрам вибрации в условиях эксплуатации. В ходе работы на территории ПНИПУ проведен пробный эксперимент по измерению уровня вибрации на гидроцилиндре и гидрораспределителе на прототипе мини-экскаватора.

**Ключевые слова:** вибрационная диагностика, гидропривод, вибрация, строительные и дорожные машины, гидронасос, гидроцилиндр, гидрораспределитель.

**A.A. Chistokletov<sup>1</sup>, K.G. Pugin<sup>2,3</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

<sup>3</sup>Volga State Academy of Water Transport, Perm Branch, Perm, Russian Federation

## **EVALUATION OF THE STATE OF HYDRAULIC DRIVE ELEMENTS OF ROAD CONSTRUCTION MACHINES USING MODERN APPROACHES**

In today's rapidly evolving world, the number of road construction machines in use is constantly increasing. Hydraulic systems used in machinery are constantly becoming more complex; the cost of equipment maintenance is increasing. In the article the methods of diagnostics of a technical condition of hydraulic drive elements of road construction machine are examined. There are subjective and objective methods of controlling the technical state of hydraulic drive. On the basis of one of the considered methods it is planned to develop the methodology of diagnosing individual elements of hydraulic drive under operating conditions. In any hydraulic system, there is an element that generates impulses; there are elements that make reciprocating motion. Any of these elements can be a source of vibration in different ranges. In the course of research work on studying the possibility of assessing the technical condition of hydraulic systems of road construction machines, the Diana-8 instrument for measuring vibration will be used.

It is planned to develop a methodology for assessing the technical condition of hydraulic drive elements according to the parameters of vibration in operating conditions. In the course of the study a trial experiment on measuring the vibration level on hydraulic cylinder and hydraulic valve on the prototype of a mini excavator was carried out in the territory of PNRPU. The results of the measurements are presented in the article.

**Keywords:** vibration diagnostics, hydraulic drive, vibration, road construction machines, hydraulic pump, hydraulic cylinder, hydraulic valve.

На данный момент в эксплуатации с каждым годом находится все больше техники, которая оснащена гидравлическими системами. Системы становятся сложнее, количество элементов возрастает. Эксплуатационные характеристики оборудования зависят от конструкторских решений, качества используемых компонентов, режимов работы техники и своевременного технического обслуживания. Для поддержания техники в работоспособном состоянии необходимо проводить техническое диагностирование [1; 2].

Цель диагностики – это выявление неисправностей на ранней стадии их появления. Это обеспечивает снижение затрат на эксплуатацию, повышение надежности гидропривода. Для решения этой задачи можно применять различные методы, рассмотрим их основные преимущества и недостатки, а также задачи, которые необходимо решать в ходе проведения диагностирования.

Основные задачи в процессе диагностики гидравлического оборудования:

- 1) определение технического состояния элементов гидропривода в данный момент времени;
- 2) обнаружение скрытых от внешнего осмотра дефектов и неисправностей;
- 3) определение необходимости замены либо регулировки элементов гидропривода;
- 4) определение причин отказа элементов гидравлического оборудования, установление причинно-следственной связи;
- 5) прогнозирование с достаточной точностью изменения технического состояния элементов гидропривода, определение ресурса узлов на основе статистики.

Рассмотрим субъективные и объективные методы контроля технического состояния элементов гидропривода. На рис. 1 представлены основные методы диагностирования, применяемые для оценки технического состояния гидропривода.

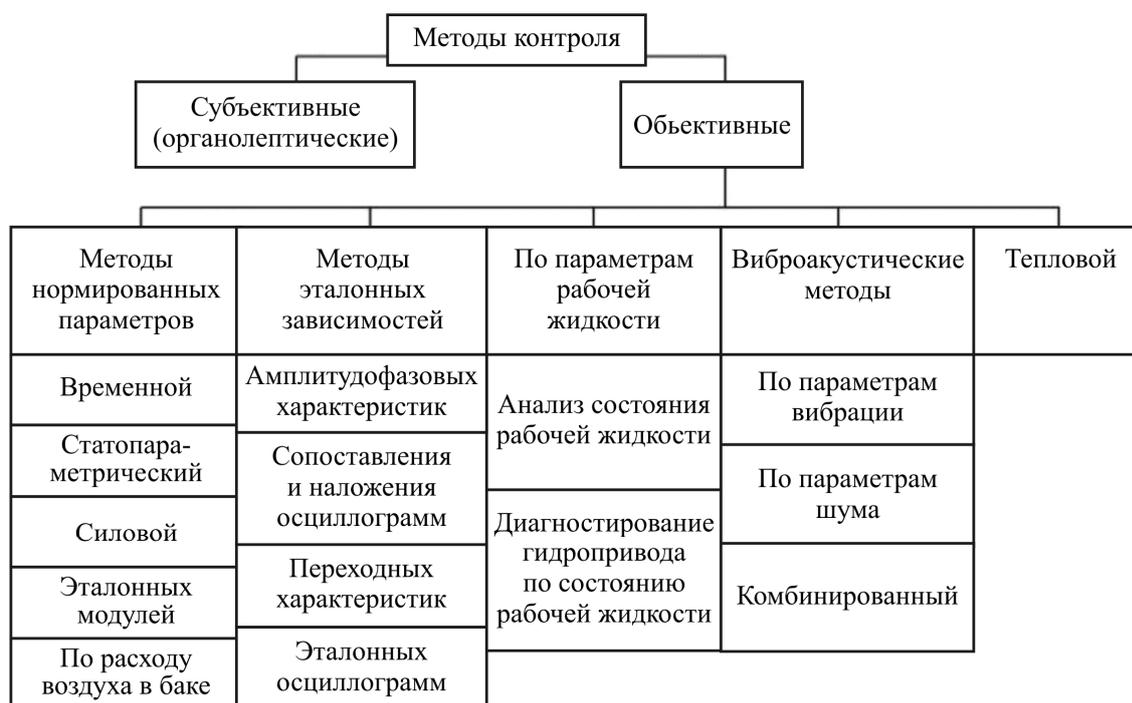


Рис. 1. Современные методы диагностирования

Субъективные методы характеризуют оценку состояния системы отдельным человеком. Такие методы не предполагают применения оборудования для проведения оценки. Анализ технического состояния подразумевает осмотр техники специалистом, оценку звука работы техники при эксплуатации. Применение данного метода возможно при явных поломках. Существенный недостаток данного метода – это низкая точность, невозможность определить неисправность на раннем этапе ее появления.

Объективные методы – подразумевают применение различных измерительных средств, что позволяет оценивать техническое состояние отдельных элементов гидропривода в данный момент, прогнозировать остаточный ресурс на основе статистических сведений.

Но стоит учитывать, что на большинстве крупных предприятий применяют планово-предупредительную систему обслуживания и ремонта. Она предусматривает строгое проведение ремонтных работ по установленному регламенту. Основной параметр – это наработка оборудования в мото-часах. Данная система позволяет предупреждать отказы оборудования, но в ней есть существенный недостаток. Минус данной системы заключается в том, что регламент технического обслуживания не может учитывать действительное состояние элементов гидропривода. Эта система не учитывает нагрузки, под которыми работает оборудование, внешние факторы, например, погодные условия. В результате часть элементов подлежит замене преждевременно, а другая часть, возможно, уже износилась и требует замены. Это приводит к повышенным затратам на обслуживание и ремонт оборудования, либо к его простоям в результате непредвиденной поломки. В совокупности это может вызвать интенсивный износ, поломки сопряженных углов.

При анализе объективных методов диагностирования можно выделить в отдельную группу виброакустические методы. Это связано с тем, что применение данных методов не требует разборки оборудования. Достаточно провести несколько замеров во время работы техники в условиях эксплуатации. После проведения измерений необходимо провести анализ полученных результатов, преобразовать графики виброускорения, наложить различные фильтры, сделать выводы, основываясь на эталонных параметрах.

Метод вибродиагностики основан на анализе параметров вибрации, возникающей при работе гидравлического оборудования. Данный метод пригоден для большинства гидравлических систем, гидроприводов, насосов, гидроцилиндров. Основное достоинство – принципиальная возможность получения информации о любом элементе гидропривода без его разборки, недостаток – сложность выделения полезной информации.

Принцип использования методики диагностики по параметрам вибрации заключается в следующем. При работе гидропривода в его элементах возникают вибрации, гидроударные процессы, акустические шумы. Как пример можно рассмотреть сопряжение плунжерной пары в гидронасосе. Шум, вибрации могут возникать от потока рабочей жидкости при дросселировании, эти колебания можно назвать структурным шумом, который возникает внутри гидравлической системы. Важно учитывать, что в процессе изнашивания элементов гидропривода, возникновении в них различных дефектов могут нарушаться кинематические связи отдельных деталей между друг другом. То есть зазоры, предусмотренные при изготовлении, увеличатся, это и есть одна из причин возникающей вибрации и шума, по которой можно проводить оценку состояния с применением вибродиагностики [4–6].

Принцип измерения и оценки основан на том, что при работе любого гидравлического механизма возбуждаются колебания, носящие импульсную природу, следовательно, можно измерить сигнал вибрации, появляющийся на корпусе элемента гидропривода. Если предположить, что в сопряжении двух деталей увеличен зазор – соответственно, амплитуда измеряемого сигнала вибрации с данного узла будет отличаться от таковой узла, имеющего неизношенные детали.

При проведении измерения сигналов вибрации датчики необходимо установить на корпус объекта диагностирования в нескольких плоскостях (рис. 2).

Датчики типа ВК-310А воспринимают сигналы вибрации в диапазоне от 1 до 5000 Герц. Для последующего анализа сигнала необходимо применение фильтров, преобразование сигнала вибрации в спектр с выделением определенных составляющих [3].



Рис. 2. Датчики ВК-310А на гидроцилиндре

Основной проблемой является то, что на данный момент не разработаны условия применения данного метода, нет четкой методики оценки технического состояния гидропривода с использованием вибродиагностики. В данном научном направлении работают авторы разных стран [6–14].

В Пермском национальном исследовательском политехническом университете на кафедре «Автомобили и технологические машины» ведутся работы по разработке методики оценки технического состояния гидропривода по параметрам вибрации. Планируется проведение дальнейших экспериментов по измерению вибрации на работающем оборудовании с использованием измерительного комплекса «Диана-8». Примеры графиков, полученных при проведении измерений вибрации при работе гидроцилиндра под нагрузкой, представлены на рис. 3 и 4.

По графикам можно сделать вывод что основной уровень вибрации характерен для частоты 100 Герц.

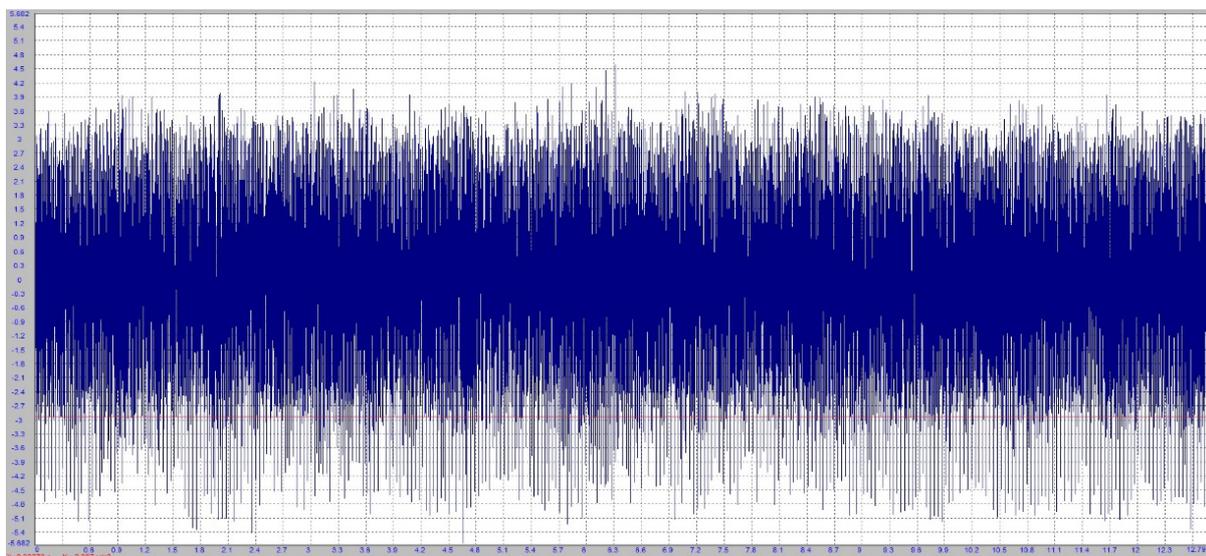


Рис. 3. Сигнал виброускорения, полученный с гидроцилиндра по оси

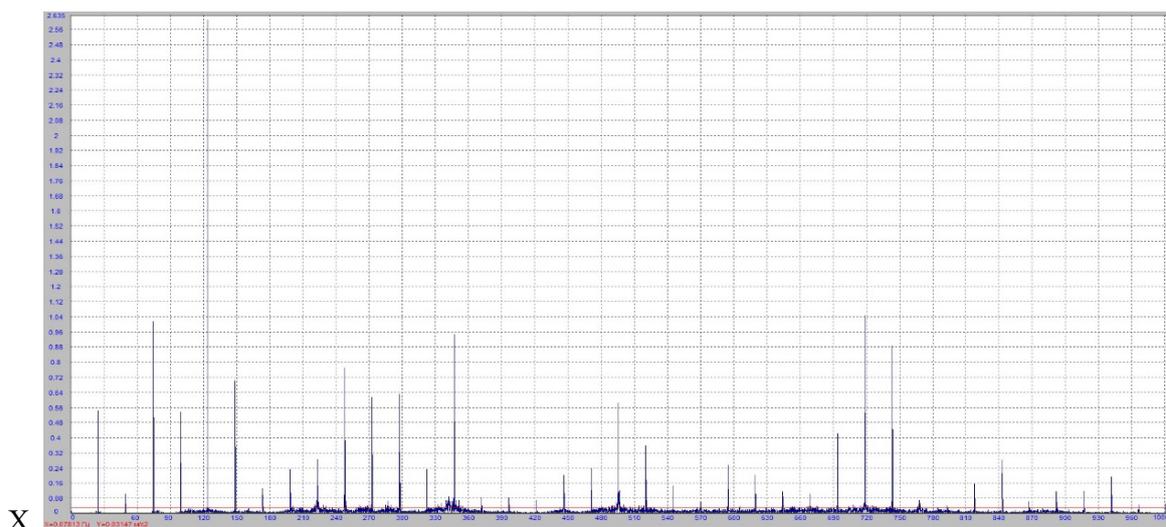


Рис. 4. Спектр сигнала виброускорения

На данный момент проведены измерения вибрации на учебном стенде, датчики были расположены на гидроцилиндре и гидрораспределителе. В дальнейшем планируется проведение измерений на аналогичном стенде, но с заранее известными дефектами. Целью будет являться последующий спектральный анализ и сравнение полученных результатов, выделение промежутка частот, на которых наблюдается различие, и последующий анализ полученной информации. Это позволит в дальнейшем составить базу данных по распространенным неисправностям, что впоследствии облегчит диагностику гидравлического оборудования.

#### Список литературы

1. Пираматов У.А., Пугин К.Г. Повышение эффективности существующих методов диагностирования гидропривода строительно-дорожных машин // *Техника и технология транспорта*. – 2019. – № 5 (13). – С. 20.
2. Пугин К.Г., Пираматов У.А. Совершенствование методов диагностирования гидросистем гидрофицированных машин // *Образование. Транспорт. Инновации. Строительство*. / Сборник материалов III Национальной научно-практической конференции. – 2020. – С. 49–53.
3. Чистоклетов А.А., Пугин К.Г. Использование вибродиагностики для определения технического состояния гидравлического оборудования // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. – 2021. – № 3. – С. 54–62.
4. Чистоклетов А.А., Пугин К.Г. Использование вибродиагностики для определения технического состояния гидравлического оборудования // *Химия. Экология. Урбанистика* / Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Химия. Экология. Урбанистика». – 2021. – С. 137–141.
5. Чистоклетов А.А., Щелудяков А.М., Пугин К.Г. Методика оценки технического состояния гидропривода строительно-дорожных машин во время производственной эксплуатации // *Прогрессивные технологии в транспортных системах: Евразийское сотрудничество: сборник материалов XV Международной научно-практической конференции*. – Оренбург, 2020. – С. 663–667.
6. Мельников Р.В. Повышение эффективности вибрационной диагностики гидроприводов строительных и дорожных машин // *Грузовик*. – 2019. – № 8. – С. 44–46.
7. Чистоклетов А.А., Щелудяков А.М. Результаты сравнительного анализа плавности переключения передач автоматической коробки автомобилей при их эксплуатации в городских условиях // *Грузовик*. – 2019. – № 12. – С. 29–33.

8. An intelligent fault diagnosis approach based on Dempster-Shafer theory for hydraulic valves / J. Xiancheng, Y. Ren, H. Tang, C. Shi, J. Xiang // *Measurement*. – 2020. – Vol. 165. – P. 108129.
9. Tang H., Fu Z., Huang Y., A fault diagnosis method for loose slipper failure of piston pump in construction machinery under changing load // *Applied Acoustics*. – 2021. – Vol. 172. – P. 107634.
10. He Yu, Hongru Li, Yaolong Li. A novel improved full vector spectrum algorithm and its application in multi-sensor data fusion for hydraulic pumps // *Measurement*. – 2019. – Vol. 133. – P. 145–161.
11. He Yu, Hongru Li, Yaolong Li. Vibration signal fusion using improved empirical wavelet transform and variance contribution rate for weak fault detection of hydraulic pumps // *ISA Transactions*. – 2020. – Vol. 107. – P. 385–401.
12. Chaoang Xiao, Hesheng Tang, Yan Ren. A fault frequency bands location method based on improved fast spectral correlation to extract fault features in axial piston pump bearings // *Measurement*. – 2021. – Vol. 171. – P. 108734.
13. Helwig N., Klein S., Schütze A. Identification and quantification of hydraulic system faults based on multivariate statistics using spectral vibration features // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 120. – P. 1225–1228.
14. Thomas Walter Rauber, Antonio Luiz da Silva Loca, Francisco de Assis Boldt. An experimental methodology to evaluate machine learning methods for fault diagnosis based on vibration signals // *Expert Systems With Applications*. – 2020. – P. 130–139.

#### References

1. Piramatov U.A., Pugin K.G. Increasing the effectiveness of existing methods of diagnosing hydraulic drive of road construction machines. *Technics and technology of transport*. – 2019. – Vol. 5 (13). pp. 20.
2. Pugin K.G., Piramatov U.A. Improvement of methods of diagnosing hydraulic systems of hydroficated machines. *Education. Transport. Innovations. Construction. Collection of Materials of III National Scientific-Practical Conference*. 2020. pp. 49–53.
3. Chistokletov A.A., Pugin K.G. Using vibrodiagnostics to determine the technical condition of hydraulic equipment. *Transport. Transport structures. Ecology*. 2021. Vol. 3. pp. 54–62.
4. Chistokletov A.A., Pugin K.G. The use of vibrodiagnostics to determine the technical condition of hydraulic equipment. *Chemistry. Ecology. Urbanistics. Materials of the All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation "Chemistry. Ecology. Urbanistics*. 2021. pp. 137–141.
5. Chistokletov A.A., Shcheludyakov A.M., Pugin K.G. Methodology of technical state evaluation of hydraulic drive of road-building machines during production operation. In the collection: *Progressive Technologies in transport systems: Eurasian cooperation. Proceedings of the XV International Scientific-Practical Conference*. Orenburg. 2020. pp. 663–667.
6. Melnikov R.V. Increasing the efficiency of vibration diagnostics of hydraulic drives of construction and road vehicle. *Truck*. 2019. Vol. 8. pp. 44–46.
7. Chistokletov A.A., Shcheludyakov A.M. Results of a comparative analysis of the smoothness of gear shifting of automatic transmission vehicles during their operation in urban conditions. *Truck*. 2019. Vol. 12. pp. 29–33.
8. Xiancheng J., Ren Y., Tang H., Shi C., Xiang J. An intelligent fault diagnosis approach based on Dempster-Shafer theory for hydraulic valves. *Measurement* 165. 2020. pp. 108129
9. Tang H., Fu Z., Huang Y. A fault diagnosis method for loose slipper failure of piston pump in construction machinery under changing load. *Applied Acoustics* 172. 2021. pp. 107634
10. He Yu, Hongru Li, Yaolong Li. A novel improved full vector spectrum algorithm and its application in multi-sensor data fusion for hydraulic pumps. *Measurement* 133. 2019. pp. 145–161.
11. He Yu, Hongru Li, Yaolong Li. Vibration signal fusion using improved empirical wavelet transform and variance contribution rate for weak fault detection of hydraulic pumps. *ISA Transactions* 107. 2020. pp. 385–401.
12. Chaoang Xiao, Hesheng Tang, Yan Ren. A fault frequency bands location method based on improved fast spectral correlation to extract fault features in axial piston pump bearings. *Measurement* 171. 2021. pp. 108734
13. Helwig N., Klein S., Schütze A. Identification and quantification of hydraulic system faults based on multivariate statistics using spectral vibration features. *Procedia Engineering* 120. 2015. pp. 1225–1228.
14. Thomas Walter Rauber, Antonio Luiz da Silva Loca, Francisco de Assis Boldt. An experimental methodology to evaluate machine learning methods for fault diagnosis based on vibration signals. *Expert Systems With Applications*. 2020. pp. 130–139.

**Об авторах**

**Чистоклетов Александр Александрович** (Пермь, Россия) – аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: blade9595@mail.ru).

**Пугин Константин Георгиевич** (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры строительных технологий Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д.Н. Прянишникова (Россия, 614990, г. Пермь, Петропавловская ул., 23); профессор кафедры специальностей водного транспорта и управления на транспорте Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта (e-mail: 123zzz@rambler.ru).

**About the authors**

**Alexander A. Chistokletov** (Perm, Russian Federation) – post graduate student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Ave., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: blade9595@mail.ru).

**Konstantin G. Pugin** (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor of Building Technologies Department, Perm State Agrarian and Technological University named after D.N. Pryanishnikov (23, Petropavlovskaya str., Perm, 614990, Russian Federation); Professor of the Department of Water Transport and Transport Management Specialties, Perm Branch of Volga State University of Water Transport (e-mail: 123zzz@rambler.ru).

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов.** Вклад авторов равноценен.

Поступила: 09.11.2022

Одобрена: 21.11.2022

Принята к публикации: 28.11.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Чистоклетов, А.А. Оценка состояния элементов гидропривода строительно-дорожных машин с применением современных подходов / А.А. Чистоклетов, К.Г. Пугин // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2022. – № 4. – С. 51–57. DOI: 10.15593/24111678/2022.04.06

Please cite this article in English as: Chistokletov A.A., Pugin K.G. Evaluation of the state of hydraulic drive elements of road construction machines using modern approaches. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2022, no. 4, pp. 51-57. DOI: 10.15593/24111678/2022.04.06