

А.П. МиллерПермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова, Пермь, Россия**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

Поддержание гидропривода строительных машин в исправном рабочем состоянии – важный процесс, определяющий успех строительства. Снижение производительности машин из-за неудовлетворительного технического состояния приводит к замедлению темпа строительства, что влечет за собой экономические потери. Усложнение гидравлических систем современных экскаваторов не позволяет обеспечить их техническую готовность на должном уровне, используя только периодический контроль параметров работы системы. В настоящее время необходимо контролировать техническое состояние отдельных элементов гидросистемы во время производственной эксплуатации машины, использовать диагностические приборы для выявления причин отказа в режиме реального времени. Общеизвестно, что техническая диагностика способствует своевременному выявлению отказов гидропривода и позволяет давать прогноз остаточного ресурса отдельных элементов гидросистемы, что немаловажно для нормального функционирования машины и планирования ее работы. На сегодняшний день существует два типа диагностики гидроприводов: в функциональном режиме и в тестовом режиме. Совершенствование и разработка новых методов диагностики определения технического состояния гидросистем строительных машин является актуальной задачей.

В статье показано, что надежность гидравлической системы определяется: дизайном гидравлической системы; видом и качеством используемых компонентов; свойствами рабочей жидкости; системой мониторинга параметров и контролем качества используемой в гидросистеме рабочей жидкости; условиями эксплуатации и стилем работы оператора.

Выдвинута гипотеза о том, что надежность гидропривода экскаватора во многом определяется стилем управления оператора. Это утверждение основано на том, что нагрузка на узлы экскаватора определяется производительностью машины. Высокая производительность экскаватора достигается за счет увеличения накопленного ущерба, на единицу перемещаемого им материала. Это позволяет утверждать, что стиль работы оператора влияет на износ элементов машины.

Для реализации условий исключения влияния навыков работы оператора на формирование дополнительных нагрузок на рабочее оборудование экскаватора выше допустимых, а также реализации систем контроля технического состояния отдельных узлов гидросистемы предлагается использовать искусственные нейронные сети.

Ключевые слова: гидропривод, строительные машины, диагностика, надежность, гидросистема, нейронные сети.

A.P. MillerPerm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov,
Perm, Russian Federation**MODERN TRENDS IN THE FIELD OF DETERMINING THE TECHNICAL STATE
OF HYDRAULIC SYSTEMS OF CONSTRUCTION MACHINES**

Maintaining the hydraulic drive of construction machines in working order is an important process that determines the success of construction. A decrease in the machines' performance due to an unsatisfactory technical condition leads to a decrease in the pace of construction, which entails economic losses. The increasing complexity of the hydraulic systems of modern excavators does not allow ensuring their technical readiness at the proper level using only periodic monitoring of the system operation parameters. Currently, it is necessary to monitor the technical condition of individual elements of the hydraulic system during the production operation of the machine, and to use diagnostic devices to identify the causes of failure in real time. Use diagnostic tools to identify causes of failure in real time. It is generally accepted that technical diagnostics contributes to the timely detection of hydraulic drive failures and allows predicting the residual life of individual elements of the hydraulic system, which is important for the normal operation of the machine and planning of its operation. Today there are two types of diagnostics of hydraulic drives: diagnostics in functional mode and in test mode. Improvement and development of new diagnostic methods for determining the technical state of hydraulic systems of construction machines is an urgent task.

In the article it is shown that the reliability of the hydraulic system is determined by the design of the hydraulic system; the type and quality of the components used; the properties of the working fluid; the system for monitoring parameters and quality control of the working fluid used in the hydraulic system; the operating conditions and operator's working style.

It is hypothesized that the reliability of the hydraulic drive of an excavator is largely determined by the operator's control style. This statement is based on the fact that the load on the excavator components is determined by the performance of the machine. High performance of the excavator is achieved by increasing the accumulated damage per unit of material moved by it. This suggests that the operator's working style affects the wear of the machine components.

To implement the conditions for excluding the influence of the operator's skills on the formation of additional loads on the working equipment of the excavator above permissible, as well as the implementation of systems for monitoring the technical condition of individual nodes of the hydraulic system, it is proposed to use artificial neural networks.

Keywords: hydraulic drive, construction machines, diagnostics, reliability, hydraulic system, neural networks.

Среди строительных машин гидравлические экскаваторы в большей степени подвержены инновационным инженерным изменениям. Это определяется их незаменимостью на строительных площадках. Для выполнения рабочих операций экскаваторы используют гидравлический привод, который с развитием электронных систем в настоящее время представляет сложную техническую систему [1–5]. Эксплуатационные расходы в течение всего срока службы единицы техники могут быть в несколько раз выше, чем первоначальная стоимость самого оборудования. Основные статьи расходов на содержание тяжелых экскаваторов, оборудованных современными гидравлическими системами, составляют: оплата работы оператора – 6–8 %; расходы на топливо – 45–55 %; технологическое обслуживание – 3–10 %; капитальный ремонт – 7–15 %; внеплановый ремонт – 30–40 % [6, 7]. Расходы на эксплуатацию и содержание экскаваторов в значительной степени зависят от региона эксплуатации, производителя и типа машины. Наибольшие затраты приходятся на топливо [8–10]. Но следующей, наиболее дорогостоящей статьёй расходов является ремонт – исправление поврежденных (вышедших из строя узлов и деталей) до приемлемого рабочего состояния в течение определенного периода (необходимое время ремонта). Эти расходы можно значительно снизить, сосредоточив внимание на диагностике гидравлической системы. Эксплуатационная эффективность экскаваторов тесно связана с надежностью его гидравлической системы. Кроме того, конструкция и характеристики гидравлической системы влияют на эксплуатационные расходы машины и, в конечном итоге, на ее жизненный цикл [11–13].

Для сложных гидравлических систем высокого давления, которые чаще всего встречаются в гидравлических экскаваторах, можно выделить два основных вида отказа. Наиболее часто встречающийся – хронический отказ (частый отказ с коротким временем ремонта). Он включает в себя типичные отказы компонентов фитингов, трубок и шлангов, клапанов и уплотнений, когда требуется постоянный мониторинг состояния, осмотр и замена для поддержания экскаватора в технической готовности [14, 15]. Второй вид отказов – острый отказ (умеренная частота при длительном ремонте). Этот режим отказа является типичным отказом компонентов гидроцилиндров, работающих в тяжелых условиях.

Хронические отказы компонентов гидравлической системы можно контролировать и предотвращать с помощью планового технического обслуживания и диагностики [16, 17]. Рабочие характеристики, срок службы и надежность гидравлической системы определяются несколькими факторами, в частности: дизайн гидравлической системы и компонентов; вид и качество используемых компонентов (включая гидравлические уплотнения и компоненты подшипников в цилиндрах); вид и качество рабочей жидкости (количество загрязнений, индекс вязкости); система мониторинга параметров и контроль качества используемой в гидросистеме рабочей жидкости, включая фильтрацию (например, загрязнение в виде твердых частиц, мягких частиц или воды); условия эксплуатации и стиль работы (ударная нагрузка на машину и гидроцилиндры, которая может вызвать потенциальные скачки давления в гидравлической системе и механическое повреждение гидроцилиндра).

При оценке надежности гидравлических экскаваторов необходимо учитывать тот факт, что это оборудование в целом имеет ограниченное время безотказной работы. «Эффективное» время работы экскаваторов часто составляет не более 60–70 % времени безотказной работы всей машины в целом, поскольку 30–40 % обычно связаны с маневрами (перестановкой экскаватора) и временем простоя (например, ожиданием самосвала).

Согласно результатам исследований большинства авторов проанализированных научных публикаций, посвященных надежности гидравлических систем, низкая производительность экскаваторов связана с функционированием системы уплотнения в гидроцилиндрах. Основными причинами выхода из строя уплотнений в гидроцилиндрах, в соответствии с правилом Парето «80/20», являются: изменение вязкости рабочей жидкости; воздействие высоких или низких температур; ударная нагрузка; скорость работы; боковые нагрузки [18]. Для диагностирования неисправности на ранней стадии проявления возможно использовать методы, позволяющие оценить изменение скорости движения поршня при изменении нагрузки. Для реализации метода необходимо установить на один гидроцилиндр до 5 датчиков, которые будут в реальном времени фиксировать скорость движения поршня, изменение давления в поршневой и штоковой полости, расход в гидролиниях. Анализ получаемых сигналов с датчиков должен быть соотнесен с данными работы силовой и насосной установки.

Гидравлические системы экскаваторов сложны не только по используемым компонентам, но и по самой архитектуре силового контура и контура управления. Между ними существует множество взаимосвязанных процессов. В частности, рассмотрение надежности уплотнения в цилиндрах – это не отдельный процесс, а часть механической подсистемы (цилиндры), входящей в гидравлическую систему. Надежность гидравлических систем не определяется только одной технической исправностью элементов гидросистемы. В настоящее время в Китае проводятся исследования, которые показывают, что надежность гидропривода экскаватора во многом определяется стилем управления оператором. Это утверждение основано на гипотезе о том, что гидравлические экскаваторы работают в пределах диапазона производительности и режима работы, в котором производительность определяет уровень нанесенного ущерба машине. Высокая производительность экскаватора достигается за счет увеличения накопленного ущерба на единицу перемещаемого им материала. Поскольку производительность машины является неотъемлемой частью мгновенной производительности, существует зависимость между мгновенной производительностью и технической готовностью машины. Общий обзор можно найти в работе [19]. Исследования по конкретным машинам описаны в работах [20, 21]. Представленные исследования установили зависимость между поведением оператора во время работы и степени повреждения машины. Авторы пришли к выводу, что уровень ущерба зависит от стиля работы, а также изменения возникающих при этом нагрузок на рабочее оборудование [22].

Это исследование показало, что способ, которым оператор управляет машиной (так называемый «стиль оператора»), влияет на производительность и рабочие нагрузки. Общая цель исследования состояла в том, чтобы определить элементы наилучшей операционной практики, которые могут привести к улучшению работы.

Продолжением представленной выше работы является создание бортовой системы, способной отслеживать работу машины и определять поведение оператора, которое может повлиять на производительность и техническую надежность.

Для реализации условий исключения влияния «стиля оператора» на формирование нагрузок выше допустимых, а также реализации систем контроля технического состояния отдельных узлов и всей гидросистемы в целом предлагается использовать искусственные нейронные сети (ИНС).

Применение теории искусственного интеллекта позволяет разбить диагностику технического состояния гидравлической системы экскаватора на несколько уровней. Первый уровень – это прямая диагностика неисправностей гидросистемы по физическим величинам (давление, температура, расход, скорость движения). Второй уровень – применение комбинированного анализа данных, получаемых с установленных на гидравлических элементах датчиков. Ввиду большого количества контролируемых параметров работы гидравлической системы, оперативное принятие решения оператором затруднено. Автоматизацию процесса контроля и управления работой рабочего оборудования экскаватора возможно осуществить с использованием нейронной сети, работа которой основана на анализе дерева неисправностей.

Искусственные нейронные сети, используемые в смежных отраслях промышленности, зарекомендовали себя как надежный метод диагностики сложных систем и имеют хорошие способности к обучению. Структура нейронной сети представлена на рисунке.

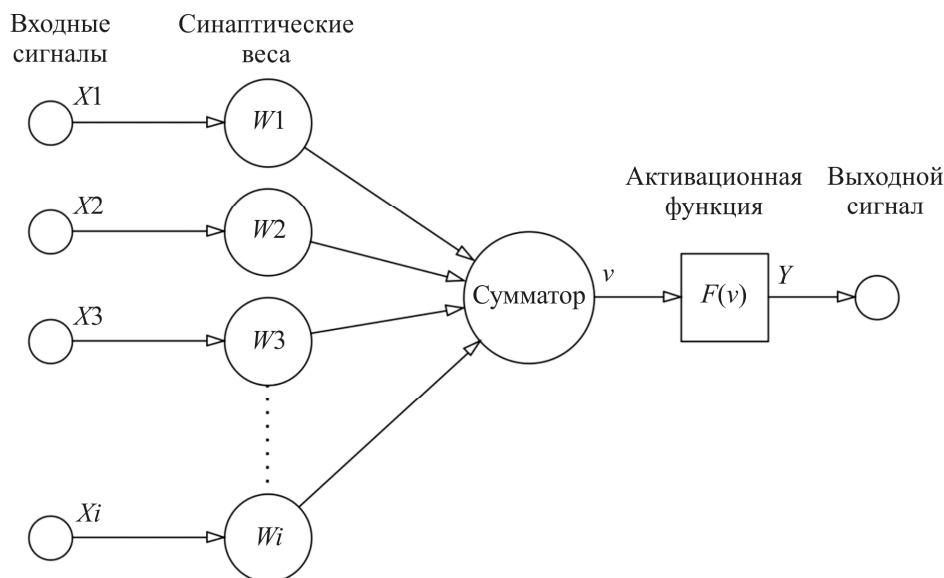


Рис. Условная структура нейронной сети для контроля работы гидравлической системы экскаватора

На уровне дерева отказов все прямые причины отказа гидравлической системы выражаются как входные события $X_1, X_2 \dots X_i$. Их возможно заменить дискретным сигналом с датчика физической величины (давление, температура, расход; скорость движения). Каждое событие X_i характеризуется своим весом W_i . Сигнал на входе синапса i , связанного с нейроном, умножается на вес W_i . Сумматор складывает входные сигналы, взвешенные относительно соответствующих синапсов нейрона, производя линейную комбинацию. Активационная функция $F(v)$ ограничивает амплитуду выходного сигнала нейрона. Эта функция также называется функцией сжатия. Компьютер считает сумму поступающих с нейронов чисел и по полученному результату определяет техническое состояние оборудования.

Основной задачей ИНС является определение неисправности оборудования или анализ технических проблем по множеству поступающих значений. Для принятия решения должно учитываться большое количество факторов, таких как вибрация оборудования или вязкость рабочей жидкости. Эти параметры постоянно изменяются, поэтому возможность обучения является первичной необходимостью для ИНС. Отлаженная и обученная ИНС представляет собой надежный инструмент проведения технической диагностики гидросистем.

В настоящее время использование искусственных нейронных сетей в качестве инструмента для прогнозирования остаточного ресурса некоторых компонентов гидравлической системы, таких как клапаны, распределители, насосы, является перспективным методом технической диагностики. ИНС имеют возможность выполнять распознавание образов и проводить многоуровневую диагностику, которую трудно описать в терминах аналитических алгоритмов диагностики, так как они могут формировать входные образы в зависимости от алгоритма поведения. Использование таких интеллектуальных систем диагностики также позволяет обеспечить контроль действий оператора и предотвратить выход из строя оборудования вследствие неправильной работы оператора. Эта технология диагностирования заслуживает дальнейшего изучения и обсуждения.

Список литературы

1. Рынкевич С.А., Хадкевич И.Ю. Экспериментальные исследования физических свойств гидропривода мобильной машины // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. – № 4 (49). – С. 68–78.
2. Пьянзов С.В. Методика динамической оценки технического состояния объемных гидроприводов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2 (55). – С. 184–191. DOI: 10.24411/2078-1318-2019-12184
3. Пираматов У.А., Пугин К.Г. Корректировка методов диагностирования гидравлических систем строительно-дорожных машин // Строительные и дорожные машины. – 2019. – № 5. – С. 37–41.
4. Пираматов У.А., Пугин К.Г. Совершенствование гидропривода строительно-дорожных машин с целью повышения надежности // Химия. Экология. Урбанистика. – 2020. – Т. 2020–3. – С. 224–228.
5. Peng Y., Dong M., Zuo M.J. Current status of machine prognostic in condition-based maintenance: a review // International Journal of Advanced Manufacture and Technology. – 2010. – Vol. 50 (1). – P. 297–313. doi.org/10.1007/s00170-009-2482-0
6. Guoping Li, Qingwei Zhang, Xiao Ma. Combination of Fault Tree and Neural Networks in Excavator Diagnosis // TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering. – 2013. – Vol. 11 (4). – P. 1787–1796. DOI: 10.11591/telkomnika.v11i4.2333
7. Чиликин А.А., Трушин Н.Н. Сравнительный анализ современных методов диагностики состояния гидравлических систем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – № 3. – С. 117–127.
8. Повышение работоспособности гидропривода строительно-дорожных машин / А.Н. Максименко, Г.Л. Антипенко, Д.В. Бездников, В.В. Кутузов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2007. – № 4. – С. 24–30.
9. Рынкевич С.А., Хадкевич И.Ю. Экспериментальные исследования физических свойств гидропривода мобильной машины // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. – № 4 (49). – С. 68–78.
10. Пьянзов С.В. Методика динамической оценки технического состояния объемных гидроприводов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2 (55). – С. 184–191. DOI: 10.24411/2078-1318-2019-12184
11. Pugin K.G. Improving the reliability of hydraulic systems of technological machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – 971 (5). – 052042
12. Piramatov U.A., Pugin, K.G. Improving the efficiency of existing methods of diagnosing the hydraulic drive of road-building machines. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – 786 (1). – 012007
13. Пираматов У.А., Пугин К.Г. Повышение надежности гидропривода строительно-дорожных машин // Транспорт: проблемы, цели, перспективы: материалы всероссийской научно-технической конференции. под редакцией Е.В. Чабановой. – 2020. – С. 216–219.
14. Шаякбаров И.Э., Пугин К.Г., Власов Д.В. Повышение надежности строительно-дорожных машин в условиях низких температур // Химия. Экология. Урбанистика. – 2020. – Т. 2020–3. – С. 279–283.
15. Пираматов У.А., Пугин К.Г. Повышение эффективности существующих методов диагностирования гидропривода строительно-дорожных машин // Техника и технология транспорта. – 2019. – № 5 (13). – 20 с.
16. Пугин К.Г., Власов Д.В., Шаякбаров И.Э. Явление теплового удара в гидравлических системах строительных и дорожных машин // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-техн. конф. – 2020. – Т. 1. – С. 163–166.
17. Zhu D.Q., Yu S.L. Diagnosis Approach Based on Minimal Cut Sets of Fault Tree // Journal of Data Acquisition & Processing. – 2002. – Vol. 17 (3). – P. 341–344.

18. Yao C.Y., Zhao J.Y. Research Fuzzy Fault Tree Analysis Method of Hydraulic System // China Mechanical Engineering. – 2007. – Vol. 18 (14). – P. 1656–1659.
19. Ni S.X., Zhang Y.F., Liang X.F. Intelligent Fault Diagnosis Method Based on Fault Tree // Journal of Shanghai Jiaotong University. – 2008. – Vol. 42 (8). – P. 1372–1375.
20. Fault Diagnosis of Excavator Hydraulic Systems Based on Partial Least Squares Regression // X.Y. He, Q.H. He, X.H. Xie [et al.] // Journal of Central South University Technology. – 2007. – Vol. 38 (6). – P. 1152–1156.
21. Cheng Q.S. Attribute Sets and Attribute Synthetic Assessment System // Systems Engineering-theory & Practice. – 1997. – Vol. (9). – P. 1–8.
22. Fan L.P., Liu Y., Li C. Fuzzy Logic Based Constant Voltage Control of Fuel Cells // TELKOMNIKA. – 2012. – Vol. 10 (4). – P. 612–616.

References

1. Rynkevich S.A., Khadkevich I. Iu. Eksperimental'nye issledovaniia fizicheskikh svoistv gidroprivoda mobil'noi mashiny [Experimental studies of the physical properties of the hydraulic drive of a mobile car] *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta*, 2015, no. 4 (49), pp. 68–78.
2. P'ianzov S.V. Metodika dinamicheskoi otsenki tekhnicheskogo sostoiianiia ob'emnykh gidroprivodov [Dynamic assessment of the technical condition of volumetric hydraulic drives] *Izvestiia Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, no. 2 (55), pp. 184–191. doi: 10.24411/2078-1318-2019-12184
3. Piramatov U.A., Pugin K.G. Korrektirovka metodov diagnostirovaniia gidravlicheskh sistem stroitel'no-dorozhnykh mashin [Correction of diagnostic methods for hydraulic systems of road construction machines] *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2019, no. 5, pp. 37–41.
4. Piramatov U.A., Pugin K.G. Sovershenstvovanie gidroprivoda stroitel'no-dorozhnykh mashin s tsel'iu povysheniia nadezhnosti [Improving the hydraulic drive of road construction machines in order to increase reliability] *Khimiia. Ekologiia. Urbanistika*, 2020, T. 2020-3, pp. 224–228.
5. Peng Y, Dong M, Zuo MJ. Current status of machine prognostic in condition-based maintenance: a review. *International Journal of Advanced Manufacture and Technology*. 2010; 50 (1). pp. 297–313. doi.org/10.1007/s00170-009-2482-0
6. Guoping, Li & Qingwei, Zhang & Xiao, Ma. (2013). Combination of Fault Tree and Neural Networks in Excavator Diagnosis. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*. 2013 11 (4). pp. 1787–1796. DOI: 10.11591/telkomnika.v11i4.2333.
7. Chilikin A.A., Trushin N.N. Sravnitel'nyi analiz sovremennykh metodov diagnostiki sostoiianiia gidravlicheskh sistem [Comparative analysis of modern methods of diagnostics of the state of hydraulic systems] *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2014, no. 3, pp. 117–127.
8. Maksimenko A.N., Antipenko G.L., Bezdnikov D.V., Kutuzov V.V. Povysenie rabotosposobnosti gidroprivoda stroitel'no-dorozhnykh mashin [Improving the efficiency of the hydraulic drive of road construction machines] *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta*, 2007, no. 4, pp. 24–30.
9. Rynkevich S.A., Khadkevich I.Iu. Eksperimental'nye issledovaniia fizicheskikh svoistv gidroprivoda mobil'noi mashiny [Experimental studies of the physical properties of the hydraulic drive of a mobile car] *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta*, 2015, no. 4 (49), pp. 68–78.
10. P'ianzov S.V. Metodika dinamicheskoi otsenki tekhnicheskogo sostoiianiia ob'emnykh gidroprivodov [Method of dynamic assessment of the technical condition of volumetric hydraulic drives] *Izvestiia Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, no. 2 (55), pp. 184–191. doi: 10.24411/2078-1318-2019-12184.
11. Pugin K.G. Improving the reliability of hydraulic systems of technological machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 971 (5), 052042
12. Piramatov U.A., Pugin, K.G. Improving the efficiency of existing methods of diagnosing the hydraulic drive of road-building machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 786 (1), 012007
13. Piramatov U.A., Pugin K.G. Povysenie nadezhnosti gidroprivoda stroitel'no-dorozhnykh mashin [Improving the reliability of hydraulic drive of road construction machines] *Transport: problemy, tseli, perspektivy. Materialy vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Pod redaktsiei E.V. Chabanovoi*. 2020, pp. 216–219.
14. Shaiakbarov I.E., Pugin K.G., Vlasov D.V. Povysenie nadezhnosti stroitel'no-dorozhnykh mashin v usloviakh nizkikh temperatur [Improving the reliability of road construction machines in low temperature conditions] *Khimiia. Ekologiia. Urbanistika*, 2020, vol. 2020-3, pp. 279–283.
15. Piramatov U.A., Pugin K.G. Povysenie effektivnosti sushchestvuiushchikh metodov diagnostirovaniia gidroprivoda stroitel'no-dorozhnykh mashin [Improving the efficiency of existing methods for diagnosing hydraulic drive of road construction machines] *Tekhnika i tekhnologiia transporta*, 2019, no. 5 (13), pp. 20
16. Pugin K.G., Vlasov D.V., Shaiakbarov I.E. Iavlenie teplovogo udara v gidravlicheskh sistemakh stroitel'nykh i dorozhnykh mashin [The phenomenon of heat shock in hydraulic systems of construction and road vehicles] *Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v transportnom komplekse*, 2020, vol. 1, pp. 163–166.

17. Zhu DQ, Yu SL. Diagnosis Approach Based on Minimal Cut Sets of Fault Tree. Journal of Data Acquisition & Processing. 2002. 17 (3). pp. 341-344.
18. Yao CY, Zhao JY. Research Fuzzy Fault Tree Analysis Method of Hydraulic System. China Mechanical Engineering. 2007. 18 (14). pp. 1656-1659.
19. Ni SX, Zhang YF, Liang XF. Intelligent Fault Diagnosis Method Based on Fault Tree. Journal of Shanghai Jiaotong University. 2008; 42 (8). pp. 1372-1375.
20. HE XY, HE QH, Xie XH, et al. Fault Diagnosis of Excavator Hydraulic Systems Based on Partial Least Squares Regression. Journal of Central South University Technology. 2007. 38 (6). pp. 1152-1156.
21. Cheng QS. Attribute Sets and Attribute Synthetic Assessment System. Systems Engineering-theory & Practice. 1997. (9). pp. 1-8.
22. Fan LP, Liu Y, Li C. Fuzzy Logic Based Constant Voltage Control of Fuel Cells. TELKOMNIKA, 2012. 10 (4). pp. 612-616.

Получено 20.01.2021

Об авторе

Миллер Александр Павлович (Пермь, Россия) – ассистент кафедры «Технический сервис и ремонт машин» Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д.Н. Прянишникова (614990, г. Пермь, Петропавловская ул., 23, e-mail: aleksandrmllera@mail.ru).

About the authors

Alexander P. Miller (Perm, Russian Federation) – Assistant, Department of Technical Service and Machine Repair, Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (23, Petropavlovskaya st., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: aleksandrmllera@mail.ru).