

Н. Н. ФАТЕЕВА, А. Н. ФАТЕЕВ

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ГИДРООБОРУДОВАНИЯ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ РАБОЧЕГО ДАВЛЕНИЯ

Классификация и анализ отказов, а также описание механизма формирования отказов показывают, что наиболее существенными эксплуатационными факторами, влияющими на изменение показателей надежности, являются давление рабочей жидкости (эксплуатационная нагрузка) и состояние рабочей жидкости (степень ее загрязнения). При оценке показателей надежности гидрооборудования следует иметь в виду, что по отношению к величине нагрузки все элементы гидрооборудования могут быть укрупненно разделены на три группы: узлы и пары трения, приводящие к отказам из-за наступления предельного состояния этих элементов по износу; элементы, отказ которых наступает вследствие усталостных разрушений; элементы, отказы которых наступают независимо от величины нагрузки, и связаны с кинематическими и динамическими характеристиками конструкции (инерционные силы, волновые процессы). Рассмотрено влияние давления рабочей жидкости (эксплуатационная нагрузка) при оценке показателей надежности на этапе проектирования на все три группы элементов. Для определения параметров гидросистем на этапе эксплуатации для оценки фактических показателей надежности, был использован комплект средств диагностики гидравлических систем, разработанный Объединением Предприятий Корпорацией «Гидроелекс» совместно с кафедрой «Гидравлические машины им. Г. Ф. Проскуры», с помощью которого измеряемые параметры могут быть записаны на внутреннюю карту памяти или переданы через беспроводную Bluetooth связь на персональный компьютер PC или Android-устройство (смартфон, планшет) для последующей обработки. Приведенные теоретические зависимости совместно с обработанными данными, полученными с помощью разработанного комплекта средств диагностики, позволяют определить количественные зависимости отказов и проводить оценку показателей надежности работы гидрооборудования в реальных условиях эксплуатации (с учетом эксплуатационных нагрузок).

Ключевые слова: показатели надежности, отказ, номинальное и эксплуатационное давление, гидрооборудование, тестер гидравлический, датчики давления.

Н. М. ФАТЄЄВА, О. М. ФАТЄЄВ

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ГІДРОУСТАТКУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ВЕЛИЧИНИ РОБОЧОГО ТИСКУ

Класифікація та аналіз відмов, а також опис механізму формування відмов показують, що найбільш істотними експлуатаційними чинниками, що впливають на зміну показників надійності, є тиск робочої рідини (експлуатаційне навантаження) і стан робочої рідини (ступінь її забруднення). При оцінці показників надійності гідроустаткування слід мати на увазі, що по відношенню до величини навантаження всі елементи гідроустаткування можуть бути здебільшого розділені на три групи: вузли та пари тертя, що призводять до відмов через настання граничного стану цих елементів по зносу; елементи, відмова яких настає внаслідок втомних руйнувань; елементи, відмови яких наступають незалежно від величини навантаження, і пов'язані з кінематичними і динамічними характеристиками конструкції (інерційні сили, хвильові процеси). Розглянуто вплив тиску робочої рідини (експлуатаційне навантаження) при оцінці показників надійності на етапі проектування на всі три групи елементів. Для визначення параметрів гідросистем на етапі експлуатації для оцінки фактичних показників надійності, був використаний комплект засобів діагностики гідралічних систем, розроблений Об'єднанням Підприємств Корпорацією «Гідроелекс» спільно з кафедрою «Гідралічні машини ім. Г. Ф. Проскури», за допомогою якого параметри, які вимірюються, можуть бути записані на внутрішню карту пам'яті або передані через бездротовий Bluetooth зв'язок на персональний комп'ютер PC або Android-пристрій (смартфон, планшет) для подальшої обробки. Наведені теоретичні залежності спільно з обробленими даними, отриманими за допомогою розробленого комплекту засобів діагностики, дозволяють визначити кількісні залежності відмов і проводити оцінку показників надійності роботи гідрообладнання в реальних умовах експлуатації (з урахуванням експлуатаційних навантажень).

Ключові слова: показники надійності, відмова, номінальний і експлуатаційний тиск, гідроустаткування, тестер гідралічний, датчики тиску.

N. FATIEIEVA, A. FATYUEYEV

ESTIMATION OF INDICATORS OF RELIABILITY OF HYDRAULIC EQUIPMENT TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF THE VALUE OF WORKING PRESSURE

Classification and analysis of failures, as well as a description of the mechanism for the formation of failures show that the most significant operational factors affecting the change in reliability indicators are the pressure of the working fluid (operating load) and the state of the working fluid (degree of contamination). When assessing the reliability of hydraulic equipment, it should be borne in mind that, in relation to the magnitude of the load, all elements of hydraulic equipment can be enlarged into three groups: nodes and friction pairs, leading to failures due to the occurrence of the limiting condition of these elements for wear; elements whose failure occurs due to fatigue damage; elements whose failures occur regardless of the magnitude of the load, and are associated with the kinematic and dynamic characteristics of the structure (inertial forces, wave processes). The influence of the pressure of the working fluid (operating load) in assessing the reliability indicators at the design stage for all three groups of elements is considered. To determine the parameters of hydraulic systems at the operational stage, to assess the actual reliability indicators, a set of tools for diagnosing hydraulic systems was developed, developed by the Association of Enterprises Corporation "Gidroeleks" together with the department "Hydraulic machines" named after academician G. F. Proskura, with which the measured parameters can be recorded on an internal memory card or transferred via wireless Bluetooth to a personal computer PC or Android device (smartphone, tablet) for further processing. The theoretical dependences given together with the processed data obtained using the developed set of diagnostic tools allow us to determine the quantitative dependencies of failures and evaluate the reliability indicators of hydraulic equipment in real operating conditions (taking into account operating loads).

Keywords: reliability indicators, failure, nominal and operating pressure, hydraulic equipment, hydraulic tester, pressure sensors.

Введение. Классификация и анализ отказов, а также описание механизма формирования отказов эксплуатационными факторами, влияющими на

© Н. Н. Фатеева, А. Н. Фатеев, 2019

изменение показателей надежности, являются давление рабочей жидкости (эксплуатационная нагрузка) и состояние рабочей жидкости (степень ее загрязнения) [1–3].

Основная часть. При оценке показателей надежности гидрооборудования следует иметь в виду, что по отношению к величине нагрузки все элементы гидрооборудования могут быть укрупненно разделены на три группы:

1) Узлы и пары трения, приводящие к отказам из-за наступления предельного состояния этих элементов по износу.

2) Элементы, отказ которых наступает вследствие усталостных разрушений.

3) Элементы, отказы которых наступают независимо от величины нагрузки, и связаны с кинематическими и динамическими характеристиками конструкции (инерционные силы, волновые процессы). К таким отказам могут быть отнесены отрывы подпятников поршней насосов в тех случаях, когда они не вызваны заклиниванием поршня [4–8].

Исходя из общего уравнения износа, справедливого для описания любого механизма износа независимо от его природы, в работе [9] выведено уравнение стационарного износа после завершения приработки:

$$I_h = c_1 \cdot p_a \cdot \theta \left(\frac{\tau \cdot \theta}{\alpha_r} \right)^{0.5} \cdot \left(\frac{k \cdot f_{\min}}{\sigma_0 \cdot \theta} \right)^{t_1}. \quad (1)$$

Важно отметить, что для приработанных поверхностей интенсивность изнашивания прямо пропорциональна величине номинального давления p_a . Таким образом, снижение рабочего давления в реальных условиях эксплуатации по сравнению с номинальным позволяет увеличить действительный ресурс работы гидрооборудования по сравнению с показателями надежности [10, 11], соответствующими техническим условиям.

Учет влияния величины рабочего давления на этапе проектирования гидравлических систем.

1. Рассмотрим возможный учет влияния величины рабочего давления на время наступления предельного состояния, например насоса, в связи с износом. Предельному состоянию насосов обычно соответствует падение коэффициента подачи более, чем на 20 %, т. е. иначе, увеличение утечек до некоторой предельной величины $Q_{\text{ут}}^{\text{пред}}$.

Как известно, утечки пропорциональны величине давления и третьей степени величины зазора:

$$Q_{\text{ут}} = Ap\delta^3. \quad (2)$$

Величина зазора δ складывается из величин исходного (начального) зазора δ_0 и приращения зазора, Δ , вызванного износом, величина которого может быть записана в виде:

$$\Delta = V \cdot T, \quad (3)$$

где V – скорость изнашивания;

T – время (количество) циклов наработки.

Скорость изнашивания, как известно, [9] прямо пропорциональна интенсивности изнашивания, представленной формулой (1). Таким образом, величина утечек после времени наработки T может быть представлена формулой:

$$Q = Ap(\delta_0 + kpT)^3, \quad (4)$$

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от комплекса внешних и внутренних факторов, влияющих на износ материала (скорость относительно перемещения, исходная шероховатость, температура среды, вязкость рабочей жидкости, а также ее загрязненность и др.).

С учетом выражения (4) связь времени наработки до предельного состояния при номинальном давлении и при реальном (эксплуатационном) давлении при прочих равных условиях (в том числе и по чистоте рабочей жидкости) может быть представлена в виде:

$$Ap_n(\delta_0 + kp_n T_n)^3 = Ap_3(\delta_0 + kp_3 T_3)^3, \quad (5)$$

где T_n и T_3 – время наработки до предельного состояния ($Q_{\text{ут}}^{\text{пред}}$) при номинальном и эксплуатационном давлении соответственно;

p_n и p_3 – номинальное и эксплуатационное давление.

Из выражения (5) следует:

$$\frac{T_3}{T_n} = \left(\frac{p_n}{p_3} \right)^{4/3} + \frac{\delta_0}{kp_3 T_n} \left(\sqrt[3]{\frac{p_n}{p_3}} - 1 \right). \quad (6)$$

Как видно из полученной зависимости, изменение ресурса при изменении эксплуатационного давления по сравнению с номинальным зависит также от величины начального зазора, номинального ресурса, а также комплекса факторов, определяемых коэффициентом k .

Вместе с тем, предварительные оценки влияния давления могут быть получены в более простом виде, если учесть, что в реальном диапазоне изменения входящих в зависимость (6) параметров величиной второго члена правой части выражения (6) можно пренебречь и записать следующую зависимость отношений ресурсов:

$$\frac{T_3}{T_n} = \left(\frac{p_n}{p_3} \right)^{4/3}. \quad (7)$$

Следует подчеркнуть, что полученные здесь зависимости справедливы лишь при определенном состоянии тонкости фильтрации и исходного (начального) зазора δ_0 .

Практика показывает, что в случае тонкости фильтрации, обеспечивающей содержание в рабочей жидкости частиц, величина которых не превосходит половины величины зазора, то износ практически

отсутствует, и в таком случае фактор снижения эксплуатационного давления не влияет на износ.

Для более же грубой фильтрации приведенные зависимости справедливы до величины износа, при которых образовавшиеся в результате износа зазоры становятся вдвое больше величины частиц, содержащихся в рабочей жидкости.

2. Для элементов, отказы которых наступают вследствие усталостных разрушений, зависимость от реальных условий нагружения имеет несколько иной вид.

Зависимость количества циклов до разрушения от действующих в силовых элементах напряжений определяется уравнением:

$$N_i = C \left(\frac{1}{\sigma_i} \right)^m, \quad (8)$$

где C – коэффициент пропорциональности, постоянный для данного материала в определенном диапазоне температур;

m – показатель степени в уравнении кривой усталостной прочности (для стальных силовых элементов при числе циклов нагружения до 10^8 $m = 6$, а для элементов из алюминиевых сплавов при числе циклов от 10^6 до 10^8 изменяется от 4 до 8).

К числу элементов, отказы которых наступают вследствие усталостных разрушений, относятся и подшипники гидромашин, воспринимающие нагрузки силовых элементов. Как известно, расчетный срок службы подшипника (90 % ресурс) определяется выражением:

$$L = \left(\frac{C}{Q} \right)^\alpha, \quad (9)$$

где Q – эквивалентная динамическая нагрузка;

C – динамическая грузоподъемность;

α – показатель степени, равный 10/3 для роликоподшипников и $\alpha = 3$ – для шарикоподшипников.

Поскольку грузоподъемность подшипников, удерживающих элементы, находящиеся под нагрузкой, пропорциональна рабочему давлению гидропривода, то можно записать:

$$L = Ap^{-\alpha}, \quad (10)$$

где A – коэффициент пропорциональности;

p – рабочее давление.

Таким образом, при снижении рабочего давления срок службы элементов, отказы которых обусловлены усталостными разрушениями, повышается в степенной зависимости от давления, причем показатель степени этой зависимости изменяется в достаточно широких пределах (от 3 до 8) в зависимости от конкретного узла и материала, из которого он изготовлен.

Определив при экспоненциальном законе интенсивность отказов [10, 11] через записанную в

технических условиях $\gamma\%$ -наработку до отказа получим:

$$\lambda = -\frac{\ln \gamma}{T_\gamma}, \quad (11)$$

а с использованием выражений (7) и (9) можно записать:

$$T_{\gamma_2} = T_{\gamma_1} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^\alpha, \quad (12)$$

где T_{γ_1} , T_{γ_2} – $\gamma\%$ -наработка до отказа при эксплуатационном и номинальном давлении соответственно.

Сравнивая выражения (7) и (12), можно считать, что при снижении эксплуатационного давления по сравнению с номинальными значениями элементы этой группы (отказы которых наступают вследствие усталостных нагружений) не являются определяющими в увеличении ресурса и снижении безотказности, так как показатель степени в выражении (12) существенно больше единицы, и в таком случае, ограничивающими факторами в увеличении ресурса являются износные явления, практически линейно зависящие от давления.

3. Для третьей группы элементов, отказы которых определяются кинематическими и динамическими характеристиками конструкции, невозможно установить определенной зависимости величины наработки до отказа с величиной нагрузки. В этом смысле отказы такого типа элементов можно считать независимыми от степени загрязненности рабочей жидкости или от величины рабочего давления. Однако, эти отказы нельзя считать независимыми от условий эксплуатации, так как они определяются частотой вращения вала насоса, вибрационными характеристиками эксплуатационных условий и т. д. Вместе с тем, установить конкретные количественные зависимости для такого вида отказов в реальных условиях эксплуатации в сопоставлении с записанными в ТУ не представляется возможным без эксплуатационных наблюдений за этими элементами в реальных условиях работы. Учитывая это обстоятельство, можно, по видимому, считать, что по этой группе отказов (следовательно, и по насосам в целом) снижение эксплуатационных нагрузок (в частности, рабочего давления) по сравнению с номинальными их значениями, увеличивая долговечность изделия, практически не изменяют показатели безотказности (величину наработки до отказа), по отношению к записанным в технических условиях [3, 12–18].

Определение параметров гидросистем на этапе эксплуатации для оценки фактических показателей надежности. Для фактической оценки состояния гидрооборудования в реальных условиях работы ОПК «Гидроэлекс» совместно с кафедрой «Гидравлические машины им. Г. Ф. Проскуры» разработали комплект средств диагностики гидравлических систем (рис. 1, а) [19], который включает в себя:

- тестер гидравлический электронный – ТГЭ-200;
- блок измерительных приборов – БИП-200;
- нагрузочное устройство – НУ-200;
- унифицированные датчики давления;
- тахометр.

ТГЭ-200 имеет шесть входных каналов (три аналоговых – давление P , P_1 , P_2 и три цифровых – расход Q , температура t , частота вращения n) и может отображать, записывать и обрабатывать сигналы от датчиков, подключенных к прибору.

Для оперативного измерения основных параметров гидросистемы используется один разъем с тремя каналами (Q , P , t), к которому подключается блок измерительных приборов для одновременного измерения расхода, давления и температуры рабочей жидкости.

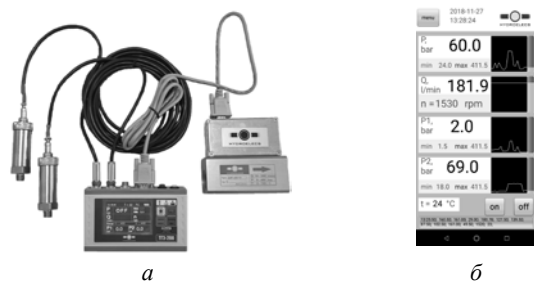


Рис. 1. Комплект средств диагностики:
а – общий вид комплекта; б – индикация параметров гидросистемы на мобильном Android-устройстве

Для измерения давления в разных точках гидросистемы имеются два аналоговых канала (P_1 и P_2) с отдельными разъемами для подключения датчиков давления. Для этих датчиков на экране ТГЭ-200 могут быть отображены измеренные фактические, максимальные, минимальные значения давления, а также разница между значениями каналов P_1 и P_2 ($P_1 - P_2$). Максимальные и минимальные значения (P_{1min} , P_{1max} , P_{2min} , P_{2max}) могут быть сброшены в любой момент времени нажатием кнопки «Сброс» (Reset). Диапазон измерения подключаемых датчиков выбирается в настройке.

Для измерения частоты вращения приводного вала насоса или вала гидромотора предусмотрен отдельный разъем с цифровым входом (n), к которому подключается тахометр.

ТГЭ-200 имеет встроенные часы реального времени, что удобно для обработки результатов измерений. Текущая дата и время отображается в верхней части экрана. Корректировка текущей даты и времени возможна в режиме настройки.

Измеряемые значения могут быть записаны на внутреннюю карту памяти или переданы через беспроводную Bluetooth связь на персональный компьютер PC или Android-устройство (смартфон, планшет) для последующей обработки.

Тестер гидравлический электронный – ТГЭ-200 работает в трех основных режимах.

Первый режим – определение объемного коэффициента подачи насоса. В этом режиме измеряются давление, расход и температура во

встроенных в БИП-200 датчиках, а также частота вращения приводного вала, на основании которых вычисляется объемный коэффициент подачи насоса.

Второй режим – внешние датчики давления, которые измеряют давление в двух разных точках гидросистемы. При проведении измерения на экране отображается текущее значение внешних датчиков давления, разность значений давления и максимальные и минимальные значения.

Третий режим – показание всех датчиков (рис. 1, б).

Разработанный комплект средств диагностики также можно использовать для технической диагностики позиционных гидроприводов [20].

Выводы. Приведенные теоретические зависимости совместно с обработанными данными, полученными с помощью разработанного комплекта средств диагностики, позволяют определить количественные зависимости отказов и проводить оценку показателей надежности работы гидрооборудования в реальных условиях эксплуатации (с учетом эксплуатационных нагрузок).

Список литературы

1. Сырицын Т. А. *Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов*. Москва: Машиностроение, 1990. 248 с.
2. Ковалёв М. А., Бородкин Г. В. Контроль технического состояния гидравлических систем летательных аппаратов на основе мониторинга значений вязкости и уровня чистоты рабочей жидкости. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*. 2012. № 7 (38). С. 40–45.
3. Скрицкий В. Я., Рокшевский В. А. *Эксплуатация промышленных гидроприводов*. Москва: Машиностроение, 1984. 176 с.
4. Труханов В. М. *Надежность технических систем типа подвижных установок на этапе их проектирования и испытания опытных образцов*. Москва: Машиностроение, 2003. 320 с.
5. Волков В. Н., Бурмистров В. А., Тимохова О. М. Показатели надежности гидропривода. *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 4. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14117> (дата обращения: 10.06.2019).
6. Герман В. Ф. *Надійність гідромашин і гідроприводів*. Суми: Сумський державний університет, 2014. 84 с.
7. Никитин О. Ф. *Надежность, диагностика и эксплуатация гидропривода мобильных объектов*. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 318 с.
8. Фінкельштейн З. Л., Андренко П. М., Дмитрієнко О. В. *Експлуатація, обслуговування та надійність гідралічних машин і гідроприводів: навч. посіб.* Харків: НТУ «ХП», 2014. 308 с.
9. *Научные проблемы машиностроения. Сборник научных статей*. Москва: Наука, 1988.
10. Фатеева Н. М., Шевченко Н. Г., Фатеев О. М. Надійність гідропневмоагрегатів металорізального устаткування. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv: NTU "KhPI". 2016. No. 41 (1213). P. 84–87.
11. Черкашенко М. В., Фатеева Н. Н. Оценка параметрической надежности гидropневмоагрегатов. *XX Міжнародна науково-технічна конференція «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці». Матеріали конференції: Секція № 2 – Гідропневмоприводи системи мехатроніки (26-29 травня 2015 р., Київ)*. Київ, 2015. С. 92–94.
12. Голубев В. И. *Монтаж, испытания и эксплуатация гидроприводов*. Москва: МЭИ, 2000. 132 с.
13. Панченко В. О., Гусак О. Г., Папченко А. А., Хованський С. О. *Монтаж, експлуатація та ремонт гідромашин і гідропневмоприводів: навч. посіб.* Суми: СумДУ, 2015. 151 с.

14. Яхно О. М., Чебан В. Г., Финкельштейн З. Л., Лур'є З. Я., Чекмасова И. А. *Расчет, проектирование и эксплуатация объемного гидропривода*. Киев: НТТУ «КПИ», 2006. 216 с.
15. Богдан Н. В., Жилевич М. И., Красневский Л. Г. *Техническая диагностика гидросистем*. Минск: Белавтотракторостроение, 2000. 120 с.
16. Чиликин А. А., Трушин Н. Н. Сравнительный анализ современных методов диагностики состояния гидравлических систем. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2014. Вып. 3. С. 117–127.
17. Додданнавар Р., Андрис Барнард. *Гидравлические системы. Практическое руководство по обслуживанию и ремонту*. Москва: ООО «Группа ИДТ», 2007. 286 с.
18. Наземцев А. С., Рыбальченко Д. Е. *Пневматические и гидравлические приводы и системы. Часть 2*. Москва: Форум, 2004. 240 с.
19. Фатеев А. Н., Салыга Т. С., Красильник А. В., Ерёмин А. В. Методика диагностики и настройки гидравлических систем тестером гидравлическим ТГ-200. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv: NTU "KhPI". 2015. No. 45 (1154). P. 106–110.
20. Черкашенко М. В., Фатеева Н. Н., Фатеев А. Н., Салыга Т. С., Радченко Л. Р. Позиционные гидропневмоагрегаты. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv: NTU "KhPI". 2015. No. 45 (1154). С. 4–8.
- machines and hydraulic drives]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2014. 308 p.
9. *Nauchnye problemy mashinostroeniya. Sbornik nauchnykh statey* [Scientific problems of engineering. Collection of scientific articles]. Moscow, Nauka Publ., 1988.
10. Fatyeyeva N. M., Shevchenko N. H., Fatyeyev O. M. Nadiynist' hidropnevmoahrehativ metalorizal'noho ustatkuvannya [Reliability of the hydraulic and pneumatic aggregates of the metal cutting equipment]. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2016, no. 41 (1213), pp. 84–87.
11. Cherkashenko M. V., Fateeva N. N. Otsenka parametricheskoj nadezhnosti gidropnevmoagregatov [Evaluation of parametric reliability of hydro-pneumatic units]. *XX Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiya "Hidroaeromekhanika v inzheneriyi praktysi". Materialy konferentsiyi: Sektsiya #2 – Hidropnevmoapryvody systemy mekhatroniki (26–29 travnya 2015 r., Kyiv)* [XX International Scientific and Technical Conference "Hydroaeromechanics in engineering practice". Materials of the conference: Section No. 2 – Hydro-pneumatic drives of the mechatronics system (May 26–29 2015, Kyiv)]. Kyiv, 2015, pp. 92–94.
12. Golubev V. I. *Montazh, ispytaniya i ekspluatatsiya gidroprivodov* [Installation, testing and operation of hydrodrives]. Moscow, MEI Publ., 2000. 132 p.
13. Panchenko V. O., Husak O. H., Papchenko A. A., Khovans'kyi S. O. *Montazh, ekspluatatsiya ta remont hidromashyn i hidropnevmoapryvodiv* [Installation, operation and repair of hydromachines and hydro pneumatic drives]. Sumy, SumDU Publ., 2015. 151 p.
14. Yakhno O. M., Cheban V. G., Finkel'shteyn Z. L., Lur'e Z. Ya., Chekmasova I. A. *Raschet, proektirovanie i ekspluatatsiya ob'emnogo gidroprivoda* [Calculation, design and operation of the volumetric hydraulic drive]. Kiev, NTU "KPI" Publ., 2006. 216 p.
15. Bogdan N. V., Zhilevich M. I., Krasnevskiy L. G. *Tekhnicheskaya diagnostika gidrosistem* [Technical diagnostics of hydraulic systems]. Minsk, Belavtotraktorostroenie Publ., 2000. 120 p.
16. Chilikin A. A., Trushin N. N. Sravnitel'nyy analiz sovremennykh metodov diagnostiki sostoyaniya gidravlicheskiykh sistem [Comparative analysis of modern methods for diagnosing the state of hydraulic systems]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [News of Tula State University. Technical science.]. 2014, issue 3, pp. 117–127.
17. Daddannavar R., Andris Barnard. *Gidravlicheskie sistemy. Prakticheskoe rukovodstvo po obsluzhivaniyu i remontu* [Hydraulic systems. Practical maintenance and repair manual]. Moscow, ООО "Группа ИДТ" Publ., 2007. 286 p.
18. Nazemtsev A. S., Rybal'chenko D. E. *Pnevmaticheskie i gidravlicheskie privody i sistemy. Chast' 2* [Pneumatic and hydraulic actuators and systems. Part 2.]. Moscow, Forum, 2004. 240 p.
19. Fateev A. N., Salyga T. S., Krasil'nik A. V., Eremin A. V. Metodika diagnostiki i nastroyki gidravlicheskiykh sistem testerom gidravlicheskim TG-200 [Methods of diagnostics and adjustment of hydraulic systems with a hydraulic tester TG-200]. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 45 (1154), pp. 106–110.
20. Cherkashenko M. V., Fateeva N. N., Fateev A. N., Salyga T. S., Radchenko L. R. Pozitsionnye gidropnevmoagregaty [Positional hydro-pneumatic units]. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 45 (1154), pp. 4–8.

Поступила (received) 24.05.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Фатеева Надія Миколаївна (Фатеева Надежда Николаевна, Fatieieva Nadezhda) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Гідравлічні машини ім. Г. Ф. Проскури»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6955-5301>; e-mail: nadin_yak@ukr.net

Фатеев Александр Миколайович (Фатеев Александр Николаевич, Fatyeyev Aleksandr) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Гідравлічні машини ім. Г. Ф. Проскури»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9212-4507>; e-mail: fatyan1@ukr.net