

# ИНЖЕНЕРНЫЙ ЖУРНАЛ СПРАВОЧНИК

## 10 (295) 2021

С приложением

Научно-технический и производственный журнал  
Издается с января 1997 года

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

### СОДЕРЖАНИЕ

#### Современные материалы

Кулаков В. В., Панков М. И., Сивурова В. А., Лучкин М. С., Голубков А. К., Шмелев Д. С. Влияние процесса пиролитического уплотнения на физико-механические свойства высокоплотных углерод-углеродных композиционных материалов на основе пековых матриц ..... 3

#### Автоматизация инженерного труда

Гончаров В. А., Тимошков П. Н., Усачева М. Н. Особенности применения программного обеспечения для расчета конструкций из полимерных композиционных материалов (обзор)..... 10

#### Техническое обслуживание и ремонт

Бодров В. В., Багаудинов Р. М., Гойдо М. Е. Об автоматизации контроля и диагностирования технического состояния гидроприводов промышленного оборудования ..... 19

#### Сегодня – студент, завтра – инженер

Нижегородов А. И. Основы теории дробления кусковых материалов. Рабочие процессы дробильных и сортировочных машин. Восьмая лекция ..... 25

Кондаков А. И., Зайцев А. В. Методическое обеспечение организации экзаменов по техническим дисциплинам при дистанционном образовании ..... 33

#### Разная информация

Ляшенко М. В., Шеховцов В. В., Потапов П. В., Искалиев А. И., Шведуненко А. А. Анализ работоспособности трансмиссии специального транспортного средства ..... 42

Чаус Д. В., Микаева С. А. Взгляд в будущее: как спинтроника повлияет на машинное зрение ..... 49

Сухова Т. С., Алексашина О. В., Гринюк О. Н. Основы управления воздушным движением ..... 53

**Председатель редакционного совета**  
академик РАН, д-р техн. наук  
Р. Ф. ГАНИЕВ

**Заместитель председателя редакционного совета**  
д-р техн. наук, проф.  
А. В. КИРИЧЕК

**Главный редактор**  
П. Е. КЛЕЙЗЕР

**Заместитель главного редактора**  
А. А. КУЛИКОВА

**Редакция:**  
С. М. МАКЕЕВА, А. А. КУЛИКОВА

#### Редакционный совет:

В. Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ, д-р техн. наук, проф.  
А. И. БОЛДЫРЕВ, д-р техн. наук, проф.  
Р. БЛАШКОВИЧ, д-р техн. наук, проф. (Словакия)  
Р. Я. ВАКУЛЕНКО, д-р экон. наук, проф.  
В. А. ГЛАЗУНОВ, д-р техн. наук, проф.  
В. А. ГОЛЕНКОВ, д-р техн. наук, проф.  
С. Н. ГРИГОРЬЕВ, д-р техн. наук, проф.  
А. А. ЖУКОВ, канд. техн. наук, проф.  
В. Л. ЗАКОВОРОТНЫЙ, д-р техн. наук, проф.  
Ю. М. ЗУБАРЕВ, д-р техн. наук, проф.  
А. С. КАЛАШНИКОВ, д-р техн. наук, проф.  
А. Ю. КОНЬКОВ, д-р техн. наук  
В. Г. МАЛИНИН, д-р физ.-мат. наук, проф.  
Г. А. НУЖДИН, канд. техн. наук  
Ю. В. ПАНФИЛОВ, д-р техн. наук, проф.  
В. Я. РАСПОПОВ, д-р техн. наук, проф.  
В. П. СМОЛЕНЦЕВ, д-р техн. наук, проф.  
Ю. С. СТЕПАНОВ, д-р техн. наук, проф.  
А. Г. СХИРТЛАДЗЕ, д-р пед. наук, канд. техн. наук, проф.  
С. Ю. ШАЧНЕВ, канд. техн. наук.  
М. Чеккарели, PhD, проф. (Италия)  
В. П. ЧИРКОВ, д-р техн. наук, проф.

Подписку на журнал можно оформить в любом почтовом отделении, или непосредственно в издательстве. Индексы по каталогам:

41299 – «Пресса России»;  
П3653 – электронный каталог "Почта России"

Журнал зарегистрирован в Комитете Российской Федерации по печати. Свидетельство о регистрации № 014670 от 25.12.1997 г., Свидетельство о перерегистрации ПИ № ФС 77-46364 от 26.08.2011 г.

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале «Справочник. Инженерный журнал», допускаются со ссылкой на источник информации и только с разрешения редакции

Телефоны редакции:  
(495) 589 56 81, (495) 514 76 50

Адрес редакции: 119048, г. Москва,  
ул. Усачева, д. 35, стр. 1

E-mail: hb@idspektr.ru; sizhpost@gmail.com

Http://www.handbook-j.ru; Http://www.idspektr.ru

# HANDBOOK

AN ENGINEERING JOURNAL

# 10 (295)

# 2021

With supplement

Scientific, technical and production monthly journal  
Publishes from January, 1997

THE MAGAZINE IS PUBLISHED UNDER THE PATRONAGE OF INTERNATIONAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERS

## CONTENTS

### Modern Materials

**Kulakov V. V., Pankov M. I., Sivurova V. A., Luchkin M. S., Golubkov A. K., Shmelev D. S.** Influence of the Pyrolytic Compaction Process on the Physical and Mechanical Properties of High-Density Carbon-Carbon Composite Materials Based on Pitch Matrices ..... 3

### Automation of Engineer's Work

**Goncharov V. A., Timoshkov P. N., Usacheva M. N.** Features of the Usage of Software for Structural Analysis Construction from Polymer Composite Materials (Review) ..... 10

### Maintenance, Repair and Operations

**Bodrov V. V., Bagautdinov R. M., Goydo M. E.** About Automation of Control and Diagnosis of Technical State of Hydraulic Drives of Industrial Equipment ..... 19

### Today – a Student, Tomorrow – Engineer

**Nizhegorodov A. I.** Fundamentals of the Lump Crushing Theory. Working Processes of Crushing and Screening Equipment. Lecture 8 ..... 25

**Kondakov A. I., Zaitsev A. V.** Methodological Support for the Organization of Exams in Technical Disciplines During Distance Education ..... 33

### Different Information

**Lyashenko M. V., Shekhovtsov V. V., Potapov P. V., Iskaliev A. I., Shvedunenkov A. A.** Analysis of Operability of the Special Vehicle Transmission ..... 42

**Chaus D. V., Mikaeva S. A.** Prospection: How Spintronics Will Affect Machine Vision ..... 49

**Sukhova T. S., Aleksashina O. V., Grinyuk O. N.** Air Traffic Control Basics ..... 53

### President of Editorial advisory

R. F. GANIEV

### Chairman Assistant

A. V. KIRICHEK

### Editor-in-Chief

P. E. KLEYZER

### Editorial council

A. A. KULIKOVA

### Edition:

S. M. MAKEEVA, A. A. KULIKOVA

### Editorial council:

V. F. BEZYZYCHNY A. Yu. KON'KOV

A. I. BOLDYREV V. G. MALININ

R. BLAZHKOVICH, G. A. NUZHIDIN  
(Slovakia)

Yu. V. PANFILOV

R. Ya. VAKULENKO V. Ya. RASPOPOV

V. A. GLAZUNOV

V. P. SMOLENTSEV

V. A. GOLENKOV

Yu. S. STEPANOV

S. N. GRIGORIEV

A. G. SHIRTLADZE

A. A. ZHUKOV

S. Yu. SHACHNEV

V. L. ZAKOVOROTNY

M. CECCARELLI  
(Italy)

Yu. M. ZUBAREV

A. S. KALASHNIKOV V. P. CHIRKOV

The journal is being distributed according to a subscription, which is available in any post office or at the publishing house directly. Indexes in the catalogue:

41299 – “Pressa Rossii” union catalogue;  
П3653 – Electronic catalog “Pochta Rossii”

The journal is registered in State Committee of Russian Federation on printing. Registration certificate N 014670 at 25.12.1997. Re-registration ПИ N ФС 77-46364 at 26.08.2011.

The Journal is among those approved by VAC RF for dissertation publication.

Reprint, all types of copying and reproduction of the materials published in the journal "Handbook. An Engineering journal" are allowed only with the permission from the editors and with the reference to the source of information. Advertisers are fully responsible for the content of the

Tel.: (495) 589 56 81; (495) 514 76 50

Edition address: Buil. 1, Usacheva St. 35, Moscow, Russia, 119048

E-mail: hb@idspektr.ru; sizhpost@gmail.com

Http://www.handbook-j.ru; www.idspektr.ru

**В. В. Бодров**, канд. техн. наук, **Р. М. Багаутдинов**, **М. Е. Гойдо**, канд. техн. наук (ООО «Уральский инжиниринговый центр», Челябинск, Россия, e-mail: [goido@cheltec.ru](mailto:goido@cheltec.ru))

## ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОПРИВОДОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Сформулированы основные задачи автоматизированного контроля и диагностирования технического состояния гидроприводов, рассмотрены критерии для оценки технического состояния гидропривода в целом и отдельных его устройств, приведены примеры тестовых режимов работы для гидроприводов с направляющей и пропорциональной гидроаппаратурой.*

**Ключевые слова:** гидроприводы; контролируемые и диагностические параметры; критерии технического состояния.

**V. V. Bodrov, R. M. Bagautdinov, M. E. Goydo** (Ural Engineering Center, Chelyabinsk, Russia)

## ABOUT AUTOMATION OF CONTROL AND DIAGNOSIS OF TECHNICAL STATE OF HYDRAULIC DRIVES OF INDUSTRIAL EQUIPMENT

*The main tasks of automated control and diagnostics of the technical condition of hydraulic drives are formulated, criteria for assessing the technical condition of a hydraulic drive as a whole and its individual devices are considered, examples of test operating modes for hydraulic drives with a guide and proportional hydraulic equipment are given.*

**Keywords:** Hydraulic drives; Monitored and diagnostic parameters; Technical condition criteria.

*Статья поступила в редакцию 20.04.2021 г.*

Для получения объективной информации о текущем техническом состоянии гидропривода промышленного оборудования и тенденциях изменения характеристик его функционирования в целях своевременного выявления отклонений в работе и предупреждения отказов, контроль параметров работы гидропривода должен осуществляться автоматически с использованием комплекта датчиков и сигнализаторов, и контроллера, обеспечивающего хранение и необходимую обработку информации, поступающей от датчиков и сигнализаторов, а также формирование диагностических, информационных, предупредительных (тревожных) и аварийных сообщений [1, 2].

Оснащение гидропривода дополнительными датчиками и сигнализаторами при любых их номенклатуре и числе ни в коем случае не отменяет необходимость регулярного проведения техниче-

ским персоналом работ по обслуживанию гидропривода, предусмотренных установленным регламентом [3]. Это необходимо в связи с тем, что, *во-первых*, с помощью датчиков и сигнализаторов при использовании их в разумных пределах невозможно контролировать все многообразие параметров, характеризующих техническое состояние гидропривода, а *во-вторых*, сами датчики и сигнализаторы могут быть неисправными, и их работа требует контроля.

Причиной нарушения работы гидропривода может быть любое из входящих в его состав устройств. Однако автоматический контроль состояния каждого из устройств, входящих в состав гидропривода, требует: применения большого числа датчиков, реализации специальных тестовых режимов работы гидропривода, введения в состав гидропривода для реализации этих режимов допол-

нительных устройств, предположительно использования в системе контроля более дорогого контроллера с повышенной памятью и быстродействием, применения более сложного программного обеспечения.

С учетом вышесказанного, более рациональным представляется применение систем автоматизированного контроля и диагностирования состояния гидроприводов, решающих две основные проблемы:

а) оценку технического состояния гидропривода в целом на основе контроля основных характеристик работы гидропривода;

б) оценку технического состояния наиболее дорогих устройств гидропривода, определяющих в основном его выходные характеристики работы.

Данные системы должны также обеспечивать возможность фиксации времени наработки на отказ отдельных устройств, входящих в состав гидропривода, с накоплением соответствующего статистического материала гидропривода и условий его эксплуатации. На основе этого материала в процессе эксплуатации гидропривода может проводиться замена соответствующих устройств до их отказа, профилактический ремонт устройств, а также необходимая модернизация гидропривода в целом (при неоправданно кратком времени службы отдельных устройств) [3].

Наиболее полным (комплексным) показателем наработки оборудования на отказ в целом ряде случаев является не время, а работа  $E$ , выполняемая оборудованием. В первую очередь это относится к насосам. Для насоса выполняемая работа может вычисляться по формуле

$$E = \int_0^t \frac{Q \Delta p}{\eta} dt = \int_0^t M \omega dt,$$

где  $Q$  – подача насоса;  $\Delta p$  – давление насоса (разность значений давления в напорном канале насоса и в его канале всасывания);  $\eta$  – полный (общий) коэффициент полезного действия насоса;  $t$  – время;  $M$  – вращающий момент на валу насоса;  $\omega$  – угловая скорость вращения вала насоса.

В тех случаях, когда значения  $Q$ ,  $\Delta p$ ,  $M$  и  $\omega$  не измеряются, для оценки работы насоса можно использовать энергию, потребляемую его приводящим электродвигателем (которая достаточно точно коррелируется с работой, выполняемой насосом), если в процессе работы электродвигателя фиксируется потребляемая им сила тока.

Одновременно на основании вычисления работы электродвигателя можно судить и о его наработке на отказ, а также о наработке на отказ соединительной муфты насоса и электродвигателя.

Каждому значению давления нового (исправного) насоса (как нерегулируемого, так и регулируемого при установленном значении его рабочего объема) соответствуют вполне определенные значения вращающего момента на валу насоса и (при фиксированном приводящем электродвигателе) потребляемой насосом мощности, а значит тока питания электродвигателя. Сопоставление значений текущих значений давления насоса и тока питания электродвигателя на квазистационарных режимах дает возможность судить о состоянии насоса (например, степени его износа, качестве работы его регулятора) и, в отдельных случаях, о состоянии электродвигателя. Измерение силы тока, потребляемой приводящим электродвигателем насоса, не составляет особого труда и целесообразно при создании систем автоматизированного контроля и диагностирования технического состояния гидроприводов.

Разумеется, возможности контроля и диагностирования технического состояния насосного агрегата существенно увеличиваются, если проводятся измерения вращающего момента на валу насоса (его приводящего электродвигателя) и частоты вращения вала насоса  $n = \omega / (2\pi)$ .

Для оценки технического состояния насоса целесообразно измерение вибраций его корпуса, а также проведение анализа шума, производимого при работе насоса [2 – 4].

Одним из релевантных критериев степени износа насоса является расход утечек насоса, измерение которого осуществить гораздо проще, чем измерение подачи насоса. Для насосов с промывкой подшипникового узла от внешнего источника рабочей жидкости расход утечек определяется как разность расходов в дренажной гидролинии насоса и в гидролинии промывки подшипников этого насоса.

В настоящее время практически все гидроприводы комплектуются фильтрами, оснащенными электрическими сигнализаторами загрязненности фильтроэлементов. При срабатывании сигнализатора загрязненности фильтра (за исключением срабатываний, обусловленных низкой температурой рабочей жидкости) установленный в фильтре фильтроэлемент подлежит замене.

Очевидно, что время работы гидропривода от момента установки в фильтр нового фильтроэлемента до момента срабатывания его сигнализатора загрязненности (это время должно фиксироваться) в значительной степени зависит от количества загрязнений в рабочей жидкости гидропривода, которое определяется интенсивностью износа устройств, входящих в состав гидропривода (например, разрушением уплотнений, истиранием элементов подвижных пар и т.п.) и попаданием в гидропривод пыли из атмосферы (например, из-за нарушения герметичности гидробака, всасывающей гидрролинии насоса и т.п.). В соответствии с вышеизложенным время работы гидропривода от момента установки в фильтр нового фильтроэлемента до момента срабатывания его сигнализатора загрязненности может использоваться в качестве одного из критериев технического состояния гидропривода, позволяющего на ранних стадиях (при уменьшении этого времени) выявлять интенсификацию износа деталей гидравлических устройств, нарушение их работы и предотвращать внезапные отказы.

Для определения источника повышенной загрязненности рабочей жидкости необходимо проводить анализ состава загрязнений, осевших на фильтроэлементе.

Возможность обнаружить увеличение степени загрязненности рабочей жидкости на ранней стадии возникновения этого явления и на основе этого принять необходимые меры для обеспечения нормальной работы гидропривода (не дожидаясь срабатывания сигнализатора загрязненности фильтра и повышенного износа гидравлических устройств, входящих в состав гидропривода, а в крайнем случае выхода из строя отдельных устройств и отказа гидропривода) появляется лишь при осуществлении регулярного контроля чистоты рабочей жидкости [4].

В связи с тем, что автоматический контроль чистоты рабочей жидкости в рамках каждого гидропривода требует значительных дополнительных затрат, а проведение контроля чистоты рабочей жидкости в специализированной заводской лаборатории не может проводиться достаточно часто (из-за ее ограниченной пропускной способности на большинстве предприятий), целесообразно, чтобы эта операция осуществлялась техническим персоналом, на который возложены обязанности по обслуживанию гидропривода, с помощью пере-

носных приборов экспресс-анализа чистоты рабочей жидкости, а результаты анализа вручную вводились в память компьютера верхнего уровня системы автоматизированного контроля и диагностирования состояния гидропривода.

Большинство современных гидроприводов оснащены реле температуры и уровня рабочей жидкости в гидробаке.

При разработке новых гидроприводов, модернизации и взятии на сервисное обслуживание существующих гидроприводов целесообразно вместо реле использовать датчики температуры и уровня рабочей жидкости в баке гидропривода.

Непрерывный контроль уровня рабочей жидкости в гидробаке с помощью соответствующего датчика позволяет не только предотвратить работу гидропривода при аварийно низком и высоком уровнях рабочей жидкости в гидробаке, не только формировать предупредительные (тревожные) сигналы при приближении уровня рабочей жидкости к верхней и нижней аварийным отметкам, но и по характеру и скорости изменения уровня рабочей жидкости в целом ряде случаев опосредованно контролировать скорость выполнения рабочих операций, появление повышенных утечек рабочей жидкости, появление перетекания воды из теплообменного аппарата с водяным охлаждением в рабочую жидкость. Решение перечисленных задач контроля предполагает, что наряду с сигналом с датчика уровня на входы контроллера системы автоматизированного контроля и диагностирования состояния гидропривода должны, как минимум, подаваться сигналы, дающие представление об операциях, выполняемых гидроприводом. Эти сигналы, в простейшем случае, могут формироваться на основе состояния электрических элементов, инициирующих начало и прекращение выполнения соответствующих операций (кнопок, переключателей, реле, концевых выключателей и т.п.). Более корректным является использование для контроля за осуществлением той или иной операции наличия или отсутствия тока в обмотке катушки электромагнита соответствующего гидрораспределителя или клапана. Однако достоверную информацию о движении выходного звена гидродвигателя может дать лишь использование датчика перемещения этого звена или соединенного с ним рабочего оборудования.

Непрерывный контроль температуры рабочей жидкости в гидробаке с помощью соответствующе-

го датчика позволяет не только предотвратить работу гидропривода при аварийно низком и высоком значениях температуры рабочей жидкости в гидробаке, не только формировать предупредительные (тревожные) сигналы при приближении температуры рабочей жидкости к верхнему и нижнему аварийным значениям, не только обеспечивать автоматически включение и выключение нагревателя и охладителя рабочей жидкости, но и по характеру изменения температуры рабочей жидкости во времени контролировать эффективность работы теплообменных аппаратов и состояние гидропривода в целом (повышенная температура рабочей жидкости при прочих равных условиях эксплуатации гидропривода может свидетельствовать о повышенных перетечках в элементах гидропривода, обусловленных их износом или неполным закрытием проходных сечений гидрораспределителей и клапанов из-за попадания в рабочие зазоры загрязнений). Решение перечисленных задач контроля предполагает, что наряду с сигналом, с датчика температуры на входы контроллера системы автоматического контроля и диагностирования состояния гидропривода должны, как минимум, подаваться сигналы, дающие представление о состоянии нагревателя и охладителя (включены они или выключены), выполняемых операциях и о значениях давления в напорных каналах используемых в гидроприводе насосов и гидроаккумуляторов.

Современные гидроприводы импортного производства укомплектовываются датчиками температуры, устанавливаемыми на входе и выходе теплообменных аппаратов с водяным охлаждением как по рабочей жидкости гидропривода, так и по воде. Указанные датчики позволяют диагностировать состояние и эффективность работы маслоохладителей как отдельных устройств, входящих в состав гидропривода. Вместе с тем для получения полной картины о работе маслоохладителя необходимо измерение (с помощью соответствующих датчиков): расходов воды и рабочей жидкости, проходящих через маслоохладитель, а также перепадов давления на маслоохладителе по воде и маслу. При построении наиболее простой системы автоматизированного контроля и диагностирования состояния гидропривода использование перечисленных в данном абзаце датчиков не является необходимым.

В качестве критерия исправности работы системы охлаждения гидропривода и отсутствия повышенных потерь энергии при его эксплуатации может использоваться суммарное время работы системы охлаждения за определенный промежуток времени (например, за одну восьмичасовую рабочую смену) при прочих равных условиях (например, температуре окружающей среды).

Для автоматического контроля за величиной давления в напорной гидролинии гидропривода обычно используется реле или датчик давления.

Поскольку в гидроприводе может быть несколько рабочих насосов, подающих рабочую жидкость в общую напорную гидролинию, то в общем случае целесообразно иметь датчики давления в напорной гидролинии каждого насоса и в общей напорной гидролинии. Датчик давления, измеряющий давление непосредственно на выходе конкретного насоса, позволяет сделать заключение о степени работоспособности насоса и подключенных его напорному каналу гидравлических устройств, а датчик давления, установленный в общей напорной гидролинии насосов – о возможности использования насосной установки гидропривода в целом. В совокупности датчик давления, установленный в напорной гидролинии насоса, и датчик давления, установленный в общей напорной гидролинии гидропривода, позволяют в ряде ситуаций автоматически осуществлять проверку корректности работы самих датчиков.

По характеру изменения давления при переводе насоса с разгрузочного на рабочий режим работы можно судить о наличии и уровне перетечек рабочей жидкости в гидроприводе, содержании нерастворенного газа в рабочей жидкости, скорости срабатывания гидроаппаратов (в частности, предохранительного клапана с электрическим управлением, у которого время закрытия проходного сечения очень существенно зависит от степени засоренности дроссельного отверстия, через которое входная полость управляющего каскада сообщается с входным каналом клапана, увеличиваясь с увеличением степени засоренности указанного отверстия).

Одним из наиболее комплексных критериев технического состояния гидроприводов промышленного оборудования является продолжительность выполнения технологических операций, связанных с изменением положения выходных звеньев гидродвигателей [2]. Указанная продолжительность может определяться как на основании управляю-

щих электрических сигналов, подаваемых на выполнение и прекращение выполнения соответствующих операций, так и на основании сигналов датчиков положения и конечных выключателей, посредством которых контролируется положение выходных звеньев гидродвигателей. Следует отметить, что точность определения времени выполнения технологической операции существенно зависит от частоты опроса сигналов контроллером. Штатные (допустимые) диапазоны изменения времени выполнения технологических операций в различных условиях работы гидрофицированного промышленного оборудования определяются на основании статистической обработки соответствующих данных, полученных (зафиксированных) при работе исправного оборудования в этих же условиях.

В составе большинства гидроаппаратов с пропорциональным электрическим управлением и сервоклапанов имеются датчики перемещения их управляющих и запорно-регулирующих элементов. Посредством этих датчиков осуществляются внутренние (местные) обратные связи. Подобные датчики имеются и в составе насосов с пропорциональным электрическим управлением для контроля положения их регулирующего органа. Указанные датчики дают возможность определить степень соответствия перемещения подвижного звена гидравлического устройства управляющему электрическому сигналу, подаваемого на его электронный блок управления и, тем самым, на ранних стадиях выявить отклонения в работе устройства, не дожидаясь полного нарушения его работоспособности.

Использование имеющихся в составе гидропривода, а также дополнительно вводимых в него датчиков и сигнализаторов (реле) для решения задач автоматизированного контроля и диагностирования технического состояния гидропривода и отдельных его устройств предполагает разработку соответствующего программного обеспечения, тестовых режимов работы гидропривода и реализацию последних в процессе эксплуатации гидропривода.

Для гидроприводов с направляющими гидрораспределителями в качестве простейшего тестового режима может использоваться отработка гидроприводом сигнала на перемещение выходного звена гидродвигателя из одного крайнего положения в другое и обратно при некоторой фиксированной нагрузке. При этом информация о характере изменения давления, силе тока, потребляемого приво-

дящим электродвигателем насоса, времени движения выходного звена гидродвигателя при известной величине хода дают возможность получить представление о техническом состоянии и работоспособности гидропривода.

Для гидроприводов с сервоклапанами и гидрораспределителями с пропорциональным электрическим управлением в качестве простейшего тестового режима может использоваться отработка гидроприводом синусоидального управляющего сигнала различной частоты. При этом для оценки состояния гидропривода, наряду с прочими параметрами, обязательно должен фиксироваться закон изменения регулируемого параметра (положения или скорости движения выходного звена гидродвигателя, давления или усилия).

Для всех тестовых режимов должны быть зафиксированы эталонные характеристики работы гидропривода (с допустимыми отклонениями), полученные для новых исправных (настроенных) гидропривода и системы управления.

При использовании для управления гидроприводом систем (аналоговых или цифровых) сложной структуры отдельно должны решаться вопросы диагностирования исправности указанных систем.

## Заключение

1. Автоматизированный контроль и диагностирование технического состояния гидропривода ни в коем случае не отменяют необходимость регулярного проведения техническим персоналом работ по обслуживанию гидропривода, предусмотренных установленным регламентом, и, в частности, регулярного контроля чистоты рабочей жидкости и проведения ее полного анализа.

2. Система автоматизированного контроля и диагностирования состояния гидропривода должна решать две основные задачи: а) оценивать техническое состояние гидропривода в целом на основе контроля основных характеристик работы гидропривода; б) оценивать техническое состояние наиболее дорогих устройств гидропривода, определяющих в основном его выходные характеристики работы.

3. Система автоматизированного контроля и диагностирования технического состояния гидропривода должна обеспечивать возможность фиксации наработки на отказ отдельных устройств, входящих в состав гидропривода.

4. Для организации автоматизированных контроля и диагностирования технического состояния гидропривода, как минимум необходимы: датчики уровня и температуры рабочей жидкости в гидробаке, электросигнализаторы загрязненности фильтроэлементов, датчики давления, устройства контроля положения выходных звеньев гидродвигателей (датчики положения, концевые выключатели). Желательным является измерение силы тока, потребляемой приводящими электродвигателями насосов.

5. Для проведения автоматизированных контроля и диагностирования технического состояния гидропривода (помимо датчиков и сигнализаторов) требуются: контроллер и компьютер верхнего уровня, соответствующее программное обеспечение, организация тестовых режимов работы в процессе эксплуатации гидропривода.

#### Библиографический список

1. **Власов А. И., Григорьев П. В., Кривошеин А. И.** Модель предиктивного обслуживания оборудования с применением беспроводных сенсорных сетей // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 2(22). С. 26 – 35. DOI 10.21685/2307-4205-2018-2-4.
2. **Харазов А. М.** Техническая диагностика гидроприводов машин. М.: Машиностроение, 1979. 112 с.

Запись для цитирования статьи:

**Бодров В. В., Багаутдинов Р. М., Гойдо М. Е.** Об автоматизации контроля и диагностирования технического состояния гидроприводов промышленного оборудования // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2021. № 10. С. 19 – 24. DOI 10.14489/hb.2021.10.pp.019-024

Bodrov V. V., Bagautdinov R. M., Goydo M. E. (2021). About Automation of Control and Diagnosis of Technical State of Hydraulic Drives of Industrial Equipment. *Spravochnik. Inzhenerniy zhurnal s prilozheniem*, (10), pp. 19 – 24. [in Russian language] DOI 10.14489/hb.2021.10.pp.019-024

3. **Сырицын Т. А.** Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов: учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика». М.: Машиностроение, 1990. 248 с.

4. **Техническая** диагностика гидравлических приводов / Т. В. Алексеева, В. Д. Бабанская, Т. М. Башта и др.; под общ. ред. Т. М. Башты. М.: Машиностроение, 1989. 264 с.

#### References

1. Vlasov A. I., Grigor'ev P. V., Krivoshein A. I. (2018). Predictive Equipment Maintenance Model Using Wireless Sensor Networks. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem*, 22(2), pp. 26 – 35. [in Russian language] DOI 10.21685 / 2307-4205-2018-2-4.
2. Harazov A. M. (1979). *Technical diagnostics of hydraulic drives of machines*. Moscow: Mashinostroenie. [in Russian language]
3. Syritsyn T. A. (1990). *Operation and reliability of hydraulic and pneumatic drives: a textbook for university students in the specialty "Hydraulic machines, hydraulic drives and hydropneumatic automation"*. Moscow: Mashinostroenie. [in Russian language]
4. Bashta T. M. (Ed.), Alekseeva T. V., Babanskaya V. D. et al. (1989). *Technical diagnostics of hydraulic drives*. Moscow: Mashinostroenie. [in Russian language]