

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ / PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

УДК 621.45.018.2:62-82

doi: 10.15507/2658-4123.031.202104.500-517

Научная статья



Разработка программного обеспечения стенда для контроля технического состояния объемных гидроприводов

С. В. Пьянзов^{1*}, П. В. Сенин¹, П. А. Ионов¹, А. В. Столяров¹,
А. М. Земсков¹, М. В. Ильин¹, И. Н. Кравченко²

¹ *Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет*

(г. Саранск, Российская Федерация)

² *РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева*
(г. Москва, Российская Федерация)

* *serega.pyanzov@yandex.ru*

Аннотация

Введение. Статья посвящена описанию специализированного программного обеспечения стенда, разработанного для контроля технического состояния отечественных и зарубежных объемных гидроприводов в условиях ремонтных предприятий и сервисных центров. Представлены результаты стендовых испытаний с использованием гидравлического стенда и программного обеспечения.

Материалы и методы. Для разработки прикладного программного обеспечения в работе использован графический язык программирования G среды программирования Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench (LabView) компании National Instruments. Достоверность полученных результатов подтверждена серией стендовых испытаний с отечественными и зарубежными объемными гидроприводами.

Результаты исследования. Разработано и практически реализовано новое специализированное программное обеспечение стенда для контроля технического состояния разномарочных объемных гидроприводов отечественного и зарубежного производства в условиях ремонтных предприятий и сервисных центров. Программное обеспечение собирает, обрабатывает и сохраняет данные с датчиков в процессе испытания, рассчитывает и выводит измерительную информацию, проводит внелабораторный анализ процесса испытаний в графическом, текстовом и видеоформатах, а также тарировку датчиков, хранит результаты испытаний в электронной библиотеке программы. Специализированное программное обеспечение работает под управлением операционной системы Microsoft Windows 7 x86 (32-bit) и устанавливается на персональном компьютере блока обработки данных гидравлического стенда.

© Пьянзов С. В., Сенин П. В., Ионов П. А., Столяров А. В., Земсков А. М., Ильин М. В., Кравченко И. Н., 2021



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Разработанное программное обеспечение характеризуют эргономичность пользовательского интерфейса, возможность контролировать все параметры диагностирования испытуемых объемных гидроприводов.

Обсуждение и заключение. Специализированное программное обеспечение и стенд позволяют в условиях ремонтных предприятий и сервисных центров с высокой точностью определять (контролировать) все параметры технического состояния наиболее распространенных отечественных и зарубежных объемных гидроприводов в соответствии с требованиями заводов-изготовителей.

Ключевые слова: стенд, специализированное программное обеспечение, объемный гидропривод, параметры диагностирования, контроль технического состояния

Финансирование: публикация подготовлена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям. Проект № 4175ГС1/68670 от 23 июля 2021 г. «Разработка технологической основы формирования электроискровых покрытий с высокими функциональными свойствами».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Разработка программного обеспечения стенда для контроля технического состояния объемных гидроприводов / С. В. Пьянзов [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31, № 4. С. 500–517. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202104.500-517>

Original article

Developing the Test Bench Software for the Technical Inspection of Volumetric Hydraulic Drives

S. V. Pyanzov^{a*}, P. V. Senin^a, P. A. Ionov^a, A. V. Stolyarov^a,
A. M. Zemskov^a, M. V. Ilyin^a, I. N. Kravchenko^b

^a National Research Mordovia State University
(Saransk, Russian Federation)

^b Russian Timiryazev State Agrarian University
(Moscow, Russian Federation)

* serega.pyanzov@yandex.ru

Abstract

Introduction. The article describes the test bench specialized software, developed for technical inspection of domestic and foreign volumetric hydraulic drives in repair enterprises and service centers. The results of bench tests using a hydraulic bench and software are presented. **Materials and Methods.** For the application software development, G graphical programming language of the Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench (Lab-View) programming environment developed by the National Instruments Company has been used. The reliability of the results obtained has been confirmed by a series of bench tests of domestic and foreign volumetric hydraulic drives.

Results. There has been developed and implemented new test bench software for the technical inspection of hydraulic drives of different models from domestic and foreign manufacturers in repair plants and service centers. The software is used to capture, process and store data from the sensors during testing, to calculate and output measurement data, to conduct nonlaboratory analysis of the testing process in graphical, textual and video formats, to calibrate sensors, and to store the test results in the electronic library system. The specialized software runs under the Microsoft Windows 7 x86 (32-bit) operating system and is installed on a personal computer of the hydraulic bench data processing unit. The developed software is characterized by the ergonomics of the user interface, the ability to control all the parameters of diagnosing the tested volumetric hydraulic drives.

Discussion and Conclusion. Specialized software and the test bench permit high accurate monitoring of all technical condition parameters of the most common domestic and foreign volumetric hydraulic drives in accordance with the requirements of the manufacturers in the repair enterprises and service centers.

Keywords: test bench, specialized software, volumetric hydraulic drive, diagnostic parameters, technical inspection

Funding: The publication was prepared with the financial support of the Foundation for Assistance to Innovations. Project no. 4175GS1/68670 of July 23, 2021 “Development of the technological basis for the formation of electrospark coatings with high functional properties”.

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Pyanzov S.V., Senin P.V., Ionov P.A., et al. Developing the Test Bench Software for the Technical Inspection of Volumetric Hydraulic Drives. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2021; 31(4):500-517. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202104.500-517>

Введение

В настоящее время в различных отраслях экономики Российской Федерации активно развивается процесс цифровизации. Данный процесс не обошел стороной сельское хозяйство. Министерством сельского хозяйства РФ в рамках реализации национальной платформы «Цифровое сельское хозяйство» было обозначено, что одной из приоритетных задач является цифровое трансформирование сельскохозяйственной отрасли за счет внедрения новых цифровых, информационных, телекоммуникационных технологий и средств, обеспечивающих технологический прорыв за счет увеличения урожайности, производительности труда и других показателей.

Увеличение производительности труда в сельскохозяйственной отрасли невозможно без современной энергонасыщенной, высокопроизводительной техники, в конструктивное исполнение которой входят цифровые средства диагностирования, а именно бортовая компьютерная система, реализованная с помощью электронного блока управления (ЭБУ). Основной функцией ЭБУ является контролирование параметров работы различных систем, сообщение о неисправностях и плановом техническом обслуживании. В научных работах исследователи отмечают сложность контроля технического состояния гидроагрегатов привода ходовой части (объемного гидропривода) системой ЭБУ в процессе эксплуатации техники [1–3].

Это связано, прежде всего, с большим количеством диагностируемых параметров, различной конструкцией систем управления, защиты и контроля, невозможностью определения наиболее значимых параметров диагностирования (объемного КПД и выходного крутящего момента). Достоверно контролировать техническое состояние объемных гидроприводов и делать заключение об их работоспособности возможно только с помощью современных стационарных средств диагностирования (гидравлических стендов), имеющих в своем составе персональный компьютер со специализированным программным обеспечением (ПО) [4; 5].

Существующие и применяемые сегодня средства диагностирования в условиях ремонтных предприятий и сервисных центров не имеют в своем составе специализированного программного обеспечения и лишены возможности подключения к персональному компьютеру, что сказывается на качестве и достоверности диагностики.

Поэтому актуальным научным направлением является разработка стационарного средства диагностирования со специализированным программным обеспечением для контроля технического состояния отечественных и зарубежных объемных гидроприводов в условиях ремонтных предприятий и сервисных центров [6–8].

Цель исследования – описать функциональные возможности нового

Процессы и машины агроинженерных систем

специализированного ПО гидравлического стенда для контроля технического состояния отечественных и зарубежных объемных гидроприводов в условиях ремонтных предприятий и сервисных центров, а также реализовать стендовые испытания для подтверждения достоверности диагностирования объемных гидроприводов с использованием гидравлического стенда и ПО.

В статье содержатся не опубликованные ранее материалы, полученные в результате диссертационного исследования [1].

Обзор литературы

Отечественное и зарубежное оборудование, в составе которого имеется специализированное программное обеспечение с различным набором функциональных возможностей, используется для контроля технического состояния бывших в эксплуатации и отремонтированных объемных гидроприводов в условиях ремонтных предприятий и сервисных центров. В настоящее время серийно выпускается следующее оборудование: стенд СДГ-И компании ООО «Гидроспецстенд» (г. Москва) [9]; испытательный стенд компании ООО «ГидроСпецПрибор» (г. Омск) [10]; испытательный гидравлический стенд «Ярстройрезерв» (г. Ярославль) [11]; портативный гидротестер МУНТ производства Jinan Highland Hydraulic Pump Co. (Китай) [12]; гидротестер серии СТ 300R-SR-B-B-6 компании Webtec (Великобритания) [13].

Производственная компания ООО «Гидроспецстенд» выпускает стенды серий СДГ-И, в составе которых имеется ПО, позволяющее собирать и обрабатывать информацию с датчиков в режиме реального времени. В качестве

достоинств программного обеспечения отмечается возможность регистрации таких параметров диагностирования объемного гидропривода, как давление в гидравлических линиях, подача/расход и температура рабочей жидкости в режиме реального времени, а также хранение и обработка измерительной информации. Среди недостатков ПО ограниченные диапазоны и количество исследуемых параметров диагностирования объемного гидропривода, низкая точность и достоверность результатов (погрешность измерения 3 %), невозможность контролировать наиболее важные параметры диагностирования (фактический крутящий момент гидромотора и объемный КПД испытуемого объемного гидропривода)¹ [3].

ООО «ГидроСпецПрибор» производит испытательные стенды, в которых в качестве измерительной аппаратуры используются гидротестеры ГТ-600М, имеющие специализированное ПО и возможность подключения к персональному компьютеру [14; 15]. Достоинства гидротестера и ПО – простота пользовательского интерфейса, низкая стоимость, возможность регистрации в процессе испытаний подачи/расхода рабочей жидкости, давления, объемного КПД. Недостатки – невозможно контролировать температуру рабочей жидкости с помощью ПО и сохранять отчеты об испытаниях объемного гидропривода, гидротестер сложно монтировать в линию объемного гидропривода, нельзя определить фактический крутящий момент, развиваемый гидромотором [16].

В испытательном стенде компании «Ярстройрезерв» используется ПО, разработанное компанией Jinan Highland Hydraulic Pump Co. ПО позволяет

¹ Пьянзов С. В., Ионов П. А., Коломейченко А. А. Требования к программному обеспечению устройства для оценки технического состояния объемных гидроприводов // Материалы Междунар. науч.-практич. конф. «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы» (21–22 ноября 2019). Саранск, 2019. С. 406–413. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42493269> (дата обращения: 10.07.2021).

собирает и обрабатывает измерительную информацию со всех датчиков стенда в режиме реального времени и отображает ее в виде графических зависимостей (давление-время, объемный КПД – давление, давление, подача/расход-время, давление-подача/расход) [2; 17; 18]. У ПО есть следующие недостатки: необходимо наличие сложных и дорогостоящих электронных компонентов для реализации связи программы с датчиками стенда, невозможно контролировать и выводить на график такие параметры диагностирования, как фактический крутящий момент гидромотора, частота вращения гидронасоса/гидромотора и температура рабочей жидкости. Измерительная база данных об испытанных объемных гидроприводах отсутствует. Следует отметить и такой недостаток, как отсутствие русскоязычного пользовательского интерфейса, что затрудняет использование данного ПО на территории Российской Федерации [19; 20].

Компания Jinan Highland Hydraulic Pump Co. серийно выпускает портативные гидротестеры для контроля технического состояния объемных гидроприводов марки МУНТ, которые могут применяться в составе испытательных стендов. Гидротестеры имеют специализированное программное обеспечение с возможностью подключения к персональному компьютеру. ПО гидротестеров имеет следующие достоинства: программа обеспечивает контроль подачи/расхода и температуры рабочей жидкости, развиваемого давления испытываемого объемного гидропривода и рассчитывает величины объемного КПД объемного гидропривода [21]. Среди недостатков большая погрешность измерения (2,5 %); сложность монтажа в магистраль гидравлической системы объемного гидропривода; невозможно контролировать и выводить на график фактический крутящий момент

гидромотора испытываемого объемного гидропривода, частоты вращения гидронасоса/гидромотора; нельзя сохранять результаты проведенных испытаний; отсутствует русскоязычный пользовательский интерфейс.

Гидротестер компании Webtec предназначен для проверки работоспособности объемных гидроприводов и оснащен портативным считывающим устройством с возможностью подключения к персональному компьютеру. Для реализации связи портативного считывающего устройства и персонального компьютера компания разработала ПО НРМComm версии 7.1. Основные достоинства – регистрация давления в линиях объемного гидропривода, подачи/расхода и температуры рабочей жидкости в режиме реального времени с построением графических зависимостей; высокая точность измерения обозначенных параметров диагностирования (погрешность не более 1 %); возможность анализа полученных измерительных результатов [13; 22]. Однако отмечены следующие минусы: высокая стоимость гидротестера и портативного считывающего устройства; невозможно контролировать частоту вращения гидронасоса/гидромотора и определять фактический крутящий момент гидромотора испытываемого объемного гидропривода; базы данных испытанных гидроагрегатов отсутствуют; нельзя получить объемный КПД гидропривода в целом; нет русскоязычного пользовательского интерфейса [23].

Анализ научно-технической литературы и информационных материалов заводов-изготовителей позволил установить, что существующее в настоящее время программное обеспечение не позволяет оценить все характеристики объемного гидропривода, а ряд программ имеют достаточно большую погрешность измерения (от 2,5 до 3,0 %), что не соответствует требованиям

ГОСТа 17108² [1; 3; 4]. У зарубежного ПО высокая стоимость, ограниченные функциональные возможности и отсутствует русскоязычный пользовательский интерфейс.

Опираясь на опыт исследователей, описанный выше, сотрудники кафедры технического сервиса машин МГУ им. Н. П. Огарёва спроектировали новый гидравлический стенд, позволяющий контролировать техническое состояние гидроагрегатов в соответствии с методическими рекомендациями отечественных и зарубежных заводов-изготовителей [1]. Авторский коллектив ставит перед собой актуальную задачу разработать собственное программное обеспечение для нового гидравлического стенда, чтобы повысить точность и достоверность оценки параметров диагностирования.

Материалы и методы

Специализированное ПО применяется при диагностировании объемных гидроприводов на гидравлическом стенде и позволяет реализовать сбор, обработку и сохранение данных с датчиков в процессе испытания (датчики частоты вращения ISB A2A-31P-4-LZ, подачи/расхода CT-300R-SR-B-B-6, давления/температуры SR-РТТ-600-05-0С). ПО рассчитывает и выводит значения КПД и крутящего момента испытуемого объемного гидропривода, проводит внелабораторный анализ процесса испытаний в графическом, текстовом и видеоформатах, а также тарифовку датчиков, хранит результаты испытаний в электронной библиотеке программы [24; 25].

ПО работает под управлением операционной системы Microsoft Windows 7 x86 (32-bit) и устанавливается на персональном компьютере, расположенном в блоке обработки данных

гидравлического стенда, который представлен на рисунке 1.

Блок обработки данных гидравлического стенда включает в себя многофункциональную плату сбора данных National Instruments USB-6251 4, обеспечивающую обработку, преобразование и передачу выходных измерительных сигналов с датчиков стенда в персональный компьютер 5 с последующим выводом измерительной информации в окно визуализации 2. Коннекторный блок National Instruments SCB-68 6 обеспечивает согласование, питание и передачу измерительных сигналов с датчиков стенда в плату сбора данных USB-6251. Связь датчиков стенда с блоком обработки данных осуществляется с помощью кабеля связи через специализированный разъем 7.

Специализированное ПО разработано в среде National Instruments LabVIEW 2012 на графическом языке программирования G. Оно имеет модульную структуру и состоит из основной программы, программ внелабораторного анализа полученных данных и настройки портов передачи измерительных данных.

ПО можно устанавливать на любой персональный компьютер, не входящий в состав гидравлического стенда. Однако в данном случае функции, связанные с измерениями параметров диагностирования испытуемых объемных гидроприводов, будут недоступны.

Результаты исследования

Авторский коллектив разработал новое специализированное программное обеспечение для гидравлического стенда [1]. Оно способно контролировать все параметры диагностирования отечественных и зарубежных объемных гидроприводов, регламентированные заводами-изготовителями [4–8].

² ГОСТ 17108-86. Гидропривод объемный и смазочные системы. Методы измерения параметров. М., 2000.



Р и с. 1. Блок обработки данных гидравлического стенда: 1 – терминал; 2 – окно визуализации; 3 – антивандальная клавиатура; 4 – многофункциональная плата сбора данных National Instruments USB-6251; 5 – персональный компьютер; 6 – коннекторный блок National Instruments SCB-68; 7 – разъем для подключения кабеля связи

F i g. 1. Data processing unit of hydraulic bench: 1 – terminal; 2 – visualization window; 3 – vandal-proof keyboard; 4 – National Instruments USB-6251 multifunctional data collection board; 5 – personal computer; 6 – National Instruments SCB-68 connector block; 7 – connector for communication cable

Разработанное ПО обеспечивает

- сбор, обработку и анализ значений параметров диагностирования испытуемых объемных гидроприводов в режиме реального времени;
- расчет и вывод измерительной информации;
- сохранение всех результатов испытаний в базу данных;
- сохранение экспериментальных данных в файл с дискретностью не реже 10 записей в 1 секунду в формате, совместимом с Microsoft Office Excel;
- проведение внелабораторного анализа зарегистрированных данных процесса испытаний;

- сохранение графиков функций, отображающих историю измерения переменных процесса испытаний в файле графического формата (.jpg, .bmp или др.);
- масштабирование полученных в результате испытаний графиков функций;
- выбор определенного набора параметров диагностирования для визуализации на экране;
- тарировку датчиков гидравлического стенда;
- сохранение отчета об испытаниях в формате, совместимом с Microsoft Office Word;

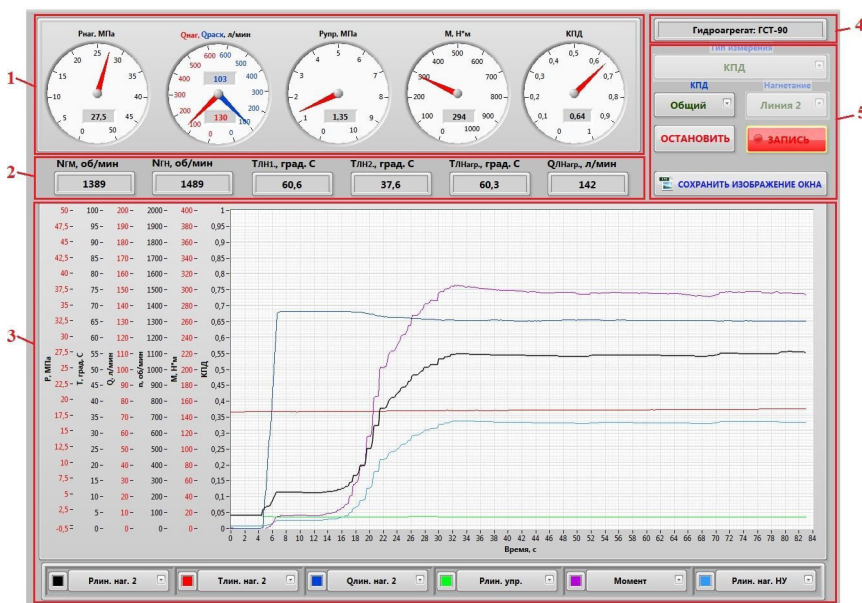
– хранение данных испытуемых гидроагрегатов с возможностью ввода паспортных значений.

Главное окно разработанного ПО представлено на рисунке 2. Окно позволяет управлять измерительным процессом, записывать результаты испытания объемных гидроприводов и обрабатывать их.

Блок 1 состоит из пяти стрелочных индикаторов и предназначен для отображения текущих значений параметров процесса испытания объемных гидроприводов. На индикаторах одновременно отображаются четыре измеряемые физические величины и две расчетные. Измеряемые величины: давление в линии нагнетания $P_{\text{НАГ}}$, МПа; объемная подача гидронасоса и расход гидромотора $Q_{\text{НАГ}}/Q_{\text{РАСХ}}$, л/мин; давление в линии управления $P_{\text{УПР}}$, МПа.

Расчетные величины: выходной крутящий момент M , Н·м; коэффициент полезного действия КПД, %. Также на стрелочном индикаторе возможно отображение одного из трех видов КПД, а именно: объемный КПД гидронасоса, объемный КПД гидромотора и общий КПД объемного гидропривода в целом.

Блок цифровых индикаторов 2 состоит из шести цифровых индикаторов и предназначен для отображения текущих значений параметров процесса испытания. На индикаторах одновременно отображаются следующие измеряемые величины: частота вращения гидромотора $N_{\text{ГМ}}$, об/мин; частота вращения гидронасоса $N_{\text{ГН}}$, об/мин; температура рабочей жидкости в линии нагнетания 1 объемного гидропривода $T_{\text{ЛН1}}$, °С; температура рабочей жидкости линии нагнетания 2 объемного гидропривода $T_{\text{ЛН2}}$, °С;



Р и с. 2. Главная лицевая панель специализированного программного обеспечения: 1 – блок стрелочных индикаторов; 2 – блок цифровых индикаторов; 3 – графический индикатор, отображающий временные диаграммы измерительных параметров диагностирования испытуемых гидроагрегатов; 4 – информационный блок; 5 – блок управляющих кнопок

Fig. 2. The main front panel of specialized software: 1 – block of pointer-type indicators; 2 – block of digital indicators; 3 – graphical indicator for displaying time charts of measuring parameters of diagnosing the tested hydraulic units; 4 – information block; 5 – control button block

температура рабочей жидкости в линиях нагружающего устройства $T_{\text{ЛНарг}}$, °С; расход в линии нагружающего устройства $Q_{\text{ЛНарг}}$, л/мин.

Графический индикатор 3 отображает временные диаграммы измерительных параметров, состоит из основного поля временных диаграмм, набора шкал для измеряемых физических величин и блока выбора отображаемых измеряемых величин и цветовой настройки отображаемых кривых. Набор шкал состоит из давления, температуры, подачи/расхода, частоты вращения, крутящего момента и КПД.

Информационный блок 4 предназначен для отображения информации о типе испытуемого гидроагрегата. Строка испытуемого гидроагрегата заполняется автоматически после выбора объекта испытания (диагностирования) в библиотеке программы.

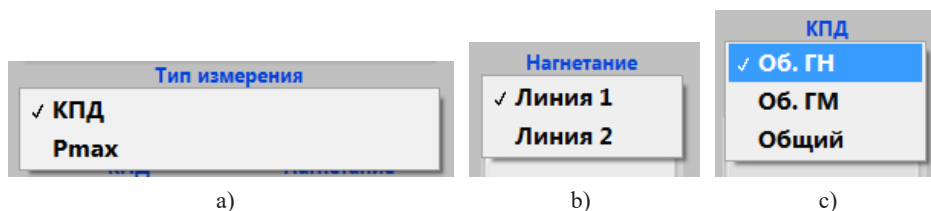
Блок управляющих кнопок 5 задает параметры испытания и отображения данных, управляет процессом испытания и сохраняет измерительную информацию. Кнопка сохранения изображения главного окна позволяет сохранить изображение главного окна в виде файла формата .png.

Основным блоком, позволяющим управлять ходом испытаний объемных гидроприводов, является блок управляющих кнопок, который содержит три раскрывающихся списка «Тип

измерения», «Нагнетание» и «КПД». Данные списки в раскрытом виде представлены на рисунке 3.

Список «Тип измерения» (рис. 3а) позволяет задавать необходимый режим испытания объемного гидропривода (режим определения КПД или максимального давления P_{max}). Список «Нагнетание» (рис. 3б) позволяет установить гидравлическую линию, которая будет являться нагнетающей. Выбор данного параметра не оказывает влияния на работу стенда, однако важен для обработки измерительной информации. Список «КПД» (рис. 3с) позволяет выбрать вид КПД отображаемого на стрелочном индикаторе «КПД» блока стрелочных индикаторов. Доступны три вида КПД: «Об. ГН» – объемный КПД гидронасоса; «Об. ГМ» – объемный КПД гидромотора; «Общий» – общий КПД гидропривода.

Для анализа измерительной информации и генерации отчета после проведения испытаний с объемными гидроприводами в разработанном специализированном программном обеспечении имеется модуль «Анализ». Данный модуль предназначен для обработки записанной во время испытания измерительной информации, а также для генерации отчета и экспорта изображений (зависимостей параметров диагностирования от времени).



Р и с. 3. Раскрывающиеся списки настроек для выбора режима диагностирования испытуемых объемных гидроприводов: а) тип измерения; б) линия нагнетания; в) КПД диагностируемого гидроагрегата

F i g. 3. Drop-down lists of settings for selecting the diagnostic mode of the tested volumetric hydraulic drives: а) measurement type; б) pressure line; в) efficiency of the diagnosed hydraulic unit

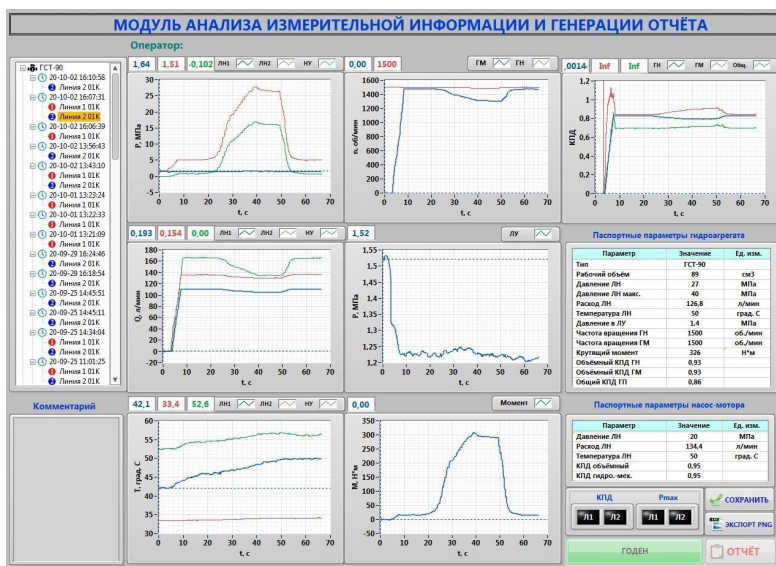
Лицевая панель модуля «Анализ» (рис. 4) состоит из следующих блоков:

- строка оператора, проводившего стендовые испытания объемного гидропривода;
- список измерений, отображающий все записанные измерения, находящиеся в хранилище измерительной информации;
- комментарий к испытанию (вводится оператором при необходимости);
- основная область осциллограмм предназначена для отображения записанной в процессе испытания измерительной информации с датчиков гидравлического стенда;
- блок параметров испытуемого объемного гидропривода, который отображает паспортные значения параметров диагностирования испытуемого объемного гидропривода в виде таблиц;
- блок управляющих кнопок и индикаторов содержит управляющие кнопки, предназначенные для сохранения измерительной информации и генерации

отчета испытания объемного гидропривода. Также в данный блок встроены вспомогательные индикаторы.

На разработанное специализированное программное обеспечение получен охранный документ Российской Федерации о защите результата интеллектуальной деятельности в виде свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019614369.

Для подтверждения достоверности диагностирования объемных гидроприводов на гидравлическом стенде со специализированным программным обеспечением была реализована серия стендовых испытаний. В качестве объекта исследований использовали отечественный объемный гидропривод ГСТ-90 ООО «СалаватГидравлика», применяемый как привод ходовой части в конструкциях зерно- и кормоуборочных комбайнов в количестве девяти новых комплектов. Стендовые испытания проводились в соответствии с методическими рекомендациями завода-изготовителя



Р и с. 4. Лицевая панель модуля «Анализ» разработанного специализированного программного обеспечения

F i g. 4. The front panel of the module “Analysis” of the developed specialized software

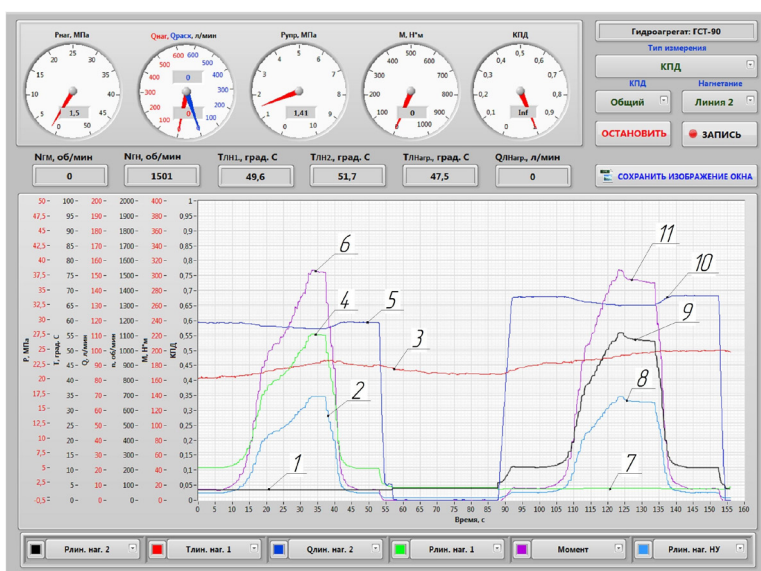
ООО «СалаватГидравлика» [4]. В качестве рабочей жидкости применялось гидравлическое масло МГЕ-46В (OILRIGHT), соответствующее требованиям ГОСТа 17479.3³.

На рисунке 5 представлено окно специализированного ПО, которое отображает процесс стендовых испытаний с новым объемным гидроприводом ГСТ-90 в режиме реального времени.

По результатам проведенных испытаний специализированным програм-

мным обеспечением формируется отчет о техническом состоянии испытуемого объемного гидропривода ГСТ-90. В таблице представлен файл отчета, содержащий фактические значения параметров диагностирования, полученные в режиме реального времени. Файл отчета базируется на усовершенствованной методике, основные положения которой были изложены ранее [1].

На основании полученных результатов делается заключение о пригодности



Р и с. 5. Окно специализированного программного обеспечения, показывающее процесс проведения стендовых испытаний с новым объемным гидроприводом ГСТ-90: 1 – давление в линии нагнетания 2; 2 – давление в линии гидравлического нагружающего устройства для линии нагнетания 1; 3 – температура рабочей жидкости в линиях испытуемого объемного гидропривода; 4 – рабочее давление в линии нагнетания 1; 5 – подача гидронасоса в линии нагнетания 1; 6 – развиваемый гидромотором крутящий момент для линии нагнетания 1; 7 – давление в линии нагнетания 2; 8 – давление в линии гидравлического нагружающего устройства для линии нагнетания 2; 9 – рабочее давление в линии нагнетания 2; 10 – подача гидронасоса в линии нагнетания 2; 11 – развиваемый гидромотором крутящий момент для линии нагнетания 2

Fig. 5. Window of specialized software showing the process of conducting bench tests with the new GST-90 volumetric hydraulic drive: 1 – pressure in the pressure line 2; 2 – pressure in the line of the hydraulic loading device for the pressure line 1; 3 – temperature of the working fluid in the lines of the tested volumetric hydraulic drive; 4 – working pressure in pressure line 1; 5 – hydraulic pump supply in pressure line 1; 6 – developed torque by the hydraulic motor for pressure line 1; 7 – pressure in the pressure line 2; 8 – pressure in the line of the hydraulic loading device for the pressure line 2; 9 – working pressure in pressure line 2; 10 – hydraulic pump supply in pressure line 2; 11 – developed torque by the hydraulic motor for pressure line 2

³ ГОСТ 17479.3-85. Масла гидравлические. Классификация и обозначение. М., 2006.

испытываемого объемного гидропривода к дальнейшей эксплуатации. Для этого используется специализированный индикатор, который находится внизу файла отчета (табл.). Если испытываемый объемный гидропривод работоспособен, то индикатор имеет зеленый цвет. Если испытываемый объемный гидропривод неработоспособен (падение величины объемного КПД более 20 %), то индикатор имеет красный цвет.

Из таблицы видно, что в ходе проведения испытаний на гидравлическом стенде с использованием разработанного ПО было сформировано заключение о работоспособности испытываемого ГСТ-90 и определены все параметры его диагностирования с погрешностью измерений, не превышающей 1 %. Полученные результаты (табл.) не противоречат требованиям завода-изготовителя и соответствуют ГОСТу⁴.

Т а б л и ц а

Table

Отчет о результатах стендовых испытаний нового объемного гидропривода ГСТ-90
Report on the test results of the new GST-90 volumetric hydraulic drive

Параметр диагностирования / Parameter of the diagnostics	Паспортное значение / Passport value	Фактическое значение / Actual value	
		Линия нагнетания 1 / Pressure line 1	Линия нагнетания 2 / Pressure line 2
1	2	3	4
Измеряемый / Measured			
Частота вращения вала гидронасоса, об/мин / Rotational rate of the hydraulic pump shaft, rpm	1 500	1 502	1 501
Частота вращения вала гидромотора, об/мин / Rotational rate of the hydraulic motor shaft, rpm	1 450 ± 50	1 485	1 479
Давление в линии нагнетания, МПа / Pressure in pressure line, MPa	27,00	27,10	27,20
Подача гидронасоса, л/мин / Hydraulic pump supply, l/min	126,82	126,91	126,87
Расход через гидромотор, л/мин / Flow rate through the hydraulic motor, l/min	126,82	126,89	126,83
Давление в линии управления, МПа / Pressure in control line, MPa	1,40	1,41	1,41
Температура рабочей жидкости в линиях объемного гидропривода, °С / Temperature of the working fluid in the lines of volumetric hydraulic drive, °С	50 ± 5	49,6	51,7
Расчетный / Calculated			
Объемный КПД гидронасоса / Volumetric efficiency of the hydraulic pump	0,950	0,953	0,953

⁴ ГОСТ 17108-86.

<i>Окончание таблицы / End of table</i>			
1	2	3	4
Объемный КПД гидромотора / Volumetric efficiency of the hydraulic motor	0,950	0,951	0,950
Общий КПД объемного гидропривода / Common efficiency of the volumetric hydraulic drive	0,900	0,906	0,905
Развиваемый крутящий момент, Н·м / Developed torque, N·m	326,000	324,320	323,670

Заключение о работоспособности объемного гидропривода: ГОДЕН /
Statement on the operability of the volumetric hydraulic drive: USABLE

Обсуждение и заключение

Таким образом, разработанное специализированное программное обеспечение для гидравлического стенда позволяет в условиях ремонтных предприятий и сервисных центров с высокой точностью определять (контролировать) все параметры технического состояния отечественных и зарубежных объемных гидроприводов в соответствии с методическими рекоменда-

ми заводов-изготовителей и достоверно определять причину потери работоспособности.

Дальнейшее развитие гидравлического стенда со специализированным программным обеспечением видится в проведении экспериментальных исследований по прогнозированию остаточного ресурса испытуемых объемных гидроприводов по параметрам диагностирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пьянзов С. В. Совершенствование стенда и методики для контроля технического состояния объемных гидроприводов сельскохозяйственной техники : дис. ... канд. тех. наук. Саранск, 2021. 318 с.
2. Разработка стенда для оценки технического состояния объемных гидроприводов с гидравлическим нагружающим устройством / П. А. Ионов [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29, № 4. С. 529–545. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201904.529-545>
3. Rylyakin E. G., Semov I. N., Kukharev O. N. The Influence of the Oxidative Polymerization Processes on the Energy Consumption Due to Friction in the Resource Defining Hydraulic Couplings Hydraulic Drive Mate // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2019. Vol. 49, no 1. P. 1064–1069. URL: [https://www.rjpbcs.com/pdf/2019_10\(1\)%5B138%5D.pdf](https://www.rjpbcs.com/pdf/2019_10(1)%5B138%5D.pdf) (дата обращения: 10.07.2021).
4. Spectral Method for Monitoring the Technical Condition of Hydraulic Drives of Forest Harvester Machines [Электронный ресурс] / А. I. Pavlov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1515. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/4/042086>
5. Experimental Hydraulic Device for the Testing of Hydraulic Pumps and Liquids / Z. Tkáč [et al.] // Tribology in Industry. 2018. Vol. 40, no. 1. P. 149–155. doi: <https://doi.org/10.24874/ti.2018.40.01.14>
6. Dynamic Modelling of the Swash Plate of a Hydraulic Axial Piston Pump for Condition Monitoring Applications / A. Bedotti [et al.] // Energy Procedia. 2018. Vol. 148. P. 266–273. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.077>
7. Numerical Simulation and Experimental Study on the Comparison of the Hydraulic Characteristics of an Axial-Flow Pump and a Full Tubular Pump / L. Shi [et al.] // Renewable Energy. 2020. Vol. 153. P. 1455–1464. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.082>

8. Battarra M., Mucchi E. On the Assessment of Lumped Parameter Models for Gearpump Performance Prediction // Simulation Modelling Practice and Theory. 2019. Vol. 99. P. 34–40. doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.102008>
9. Совершенствование мониторинга системы «человек–машина–среда» и правил эксплуатации для повышения эксплуатационной надежности тракторов / Н. А. Петрищев [и др.] // Технический сервис машин. 2020. № 3. С. 12–20. doi: <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2020-58-3-12-20>
10. Павлов А. И., Тарбеев А. А. Методика определения стратегии замены элементов гидропривода транспортно-технологических машин // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 4. С. 108–112. doi: <https://doi.org/10.17513/snt.36968>
11. Performance Investigation of Hydrostatic Transmission System as a Function of Pump Speed and Load Torque / S. K. Mandal [et al.] // Journal of the Institution of Engineers (India): Series C. 2012. no. 93. P. 187–193. doi: <https://doi.org/10.1007/s40032-012-0022-4>
12. Michelson S., Mueller M., Schurman B. Hydraulic Test Bench Circuit Construction, Testing and Analysis // The Journal of Undergraduate Research. 2012. Vol. 10. P. 116–127. URL: <http://openprairie.sdstate.edu/jur/vol10/iss1/9> (дата обращения: 10.07.2021).
13. Ding H., Zhao J. Performance Analysis of Variable Speed Hydraulic Systems with Large Power in Valve-Pump Parallel Variable Structure Control // Journal of Vibroengineering. 2014. Vol. 16, Issue 2. P. 1042–1062. URL: <https://jvejournal.com/article/14974> (дата обращения: 10.07.2021).
14. Rylyakin E. G. The Effect of Physico-Chemical Composition of Micro-Particles Contamination of Diesel Fuel on the Technical Condition of the Power Supply System of Diesel Engines // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2019. Vol. 10, no. 2. P. 334–337. URL: [https://www.rjpbs.com/pdf/2019_10\(2\)/\[46\].pdf](https://www.rjpbs.com/pdf/2019_10(2)/[46].pdf) (дата обращения: 10.07.2021).
15. Гидротестер : патент 123478 Российской Федерации, МПК F15B 19/00 / Суманов А. И. № 2012123886/28 ; заявл. 08.06.2012 ; опубл. 27.12.2012. 5 с. URL: https://www1.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=123478&TypeFile=html (дата обращения: 10.07.2021).
16. Опыт внедрения оборудования для диагностики, контроля качества изготовления и ремонта агрегатов гидропривода, трансмиссии энергонасыщенной техники / И. М. Макаркин [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 4–2. С. 135–144. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39217463> (дата обращения: 10.07.2021).
17. Elshorbagy K. A., Kandil H., Latif M. R. Development of a Multi-Functional Hydraulic Test Stand // Journal of Scientific and Engineering Research. 2018. Vol. 5, Issue 1. P. 123–132. URL: <http://jsaer.com/download/vol-5-iss-1-2018/JSAER2018-05-01-123-132.pdf> (дата обращения: 10.07.2021).
18. A Method for Functional Diagnosis of Hydraulic Drives of Forest Machinery / A. I. Pavlov [et al.] // International Journal of Environmental and Science Education. 2016. Vol. 11, no 18. P. 11331–11340. URL: <http://www.ijese.net/makale/1530.html> (дата обращения: 10.07.2021).
19. Rydberg K.-E. Hydraulic Fluid Properties and Their Impact on Energy Efficiency // The 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power (Sweden) (3–5 June 2013). Linköping : Linköping University Electronic Press, 2013. P. 447–453. doi: <https://doi.org/10.3384/ecp1392a44>
20. Оценка технического состояния круглых шестеренных гидронасосов навесных гидросистем тракторов / П. В. Чумаков [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30, № 3. С. 426–447. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202003.426-447>
21. Ding H., Liu Y., Zhao Ya. A New Hydraulic Synchronous Scheme in Open-Loop Control: Load-Sensing Synchronous Control // Measurement and Control. 2020. no. 53. P. 119–125. doi: <https://doi.org/10.1177/0020294019896000>
22. Skorek G. The Opportunities for Getting Energy Savings in the Hydrostatic Drive System // Journal of KONES. Powertrain and Transport. 2014. Vol. 21, no. 2. P. 273–280. URL: https://kones.eu/ep/2014/vol21/no2/Journal_of_KONES_2014_No_2_Vol_21_ISSN_1231-4005_SKOREK.pdf (дата обращения: 10.07.2021).
23. Method for Determining the Optimal Operating Time before Replacement of High-Pressure Hoses of Hydraulic Drives of Transport and Technological Machines [Электронный ресурс] / A. I. Pavlov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1515. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/4/042065>

24. Устройство для оценки технического состояния объемных гидроприводов : патент 187833 Российская Федерация / Ионов П. А. [и др.]. № 2018137976 ; заявл. 29.10.2018 ; опубл. 19.03.2019. 9 с. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=187833&TypeFile=html (дата обращения: 10.07.2021).

25. Величко С. А., Мартынова Е. Г., Иванов В. И. Оценка предельного состояния тестоделительных машин вакуумно-поршневого типа по критерию расхода масла // Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30, № 3. С. 448–463. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202003.448-463>

Поступила 21.07.2021; одобрена после рецензирования 26.08.2021; принята к публикации 30.09.2021

Об авторах:

Пьянзов Сергей Владимирович, лаборант кафедры технического сервиса машин Института механики и энергетики Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5845-1635>, Researcher ID: B-1548-2019, serega.pyanzov@yandex.ru

Сенин Петр Васильевич, заведующий кафедрой технического сервиса машин Института механики и энергетики Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор технических наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3400-7780>, Researcher ID: H-1219-2016, senin53@mail.ru

Ионов Павел Александрович, доцент кафедры технического сервиса машин Института механики и энергетики Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9794-0071>, Researcher ID: S-7146-2018, resurs-ime@yandex.ru

Столяров Алексей Владимирович, доцент кафедры технического сервиса машин Института механики и энергетики Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5898-0150>, Researcher ID: G-8460-2016, cabto@mail.ru

Земсков Александр Михайлович, доцент кафедры технического сервиса машин Института механики и энергетики Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1489-6077>, Researcher ID: S-7748-2018, zam503@mail.ru

Ильин Михаил Владимирович, доцент кафедры электроники и наноэлектроники Института электроники и светотехники Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9495-2672>, Researcher ID: P-2398-2016, imikev@mail.ru

Кравченко Игорь Николаевич, профессор кафедры технического сервиса машин и оборудования РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>, Researcher ID: B-9463-2018, kravchenko-in71@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

С. В. Пьянзов – подготовка текста с последующей доработкой, анализ литературных данных, программная реализация алгоритма программного обеспечения.

П. В. Сенин – научное руководство, разработка технического задания программы.

П. А. Ионов – анализ и доработка текста, разработка алгоритма программы.

А. В. Столяров – подготовка и анализ литературных данных, доработка текста, разработка спецификации программы.

А. М. Земсков – доработка текста, формализация задачи программы.

М. В. Ильин – написание исходного текста программы.

И. Н. Кравченко – проведение критического анализа исследований, анализ и доработка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Pyanzov S.V. [Improvement of the Bench and Methodology for Monitoring the Technical Condition of the Volume Hydraulic Drives of Agricultural Machinery]: Cand. Sci. dissertation. Saransk; 2021. 318 p. (In Russ.)
2. Ionov P.A., Senin P.V., Pyanzov S.V., et al. Developing a Stand for Evaluating Technical Condition of Volumetric Hydraulic Drives with a Hydraulic Loading Device. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems*. 2019; 29(4):529-545. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201904.529-545>
3. Rylyakin E.G., Semov I.N., Kukharev O.N. The Influence of the Oxidative Polymerization Processes on the Energy Consumption Due to Friction in the Resource Defining Hydraulic Couplings Hydraulic Drive Mate. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2019; 49(1):1064-1069. Available at: [https://www.rjpbcs.com/pdf/2019_10\(1\)/%5B138%5D.pdf](https://www.rjpbcs.com/pdf/2019_10(1)/%5B138%5D.pdf) (accessed 10.07.2021). (In Eng.)
4. Pavlov A.I., Tarbeev A.A., Egorov A.V., et al. Spectral Method for Monitoring the Technical Condition of Hydraulic Drives of Forest Harvester Machines. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020; 1515. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/4/042086>
5. Tkáč Z., Kosiba J., Hujo L., et al. Experimental Hydraulic Device for the Testing of Hydraulic Pumps and Liquids. *Tribology in Industry*. 2018; 40(1):149-155. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.24874/ti.2018.40.01.14>
6. Bedotti A., Pastori M., Scolari F., Casoli P. Dynamic Modelling of the Swash Plate of a Hydraulic Axial Piston Pump for Condition Monitoring Applications. *Energy Procedia*. 2018; 148:266-273. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.077>
7. Shi L., Zhang W., Jiao H., et al. Numerical Simulation and Experimental Study on the Comparison of the Hydraulic Characteristics of an Axial-Flow Pump and a Full Tubular Pump. *Renewable Energy*. 2020; 153:1455-1464. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.082>
8. Battarra M., Mucchi E. On the Assessment of Lumped Parameter Models for Gearpump Performance Prediction. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2019; 99:34-40. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.102008>
9. Petrishchev N.A., Kostomakhin M.N., Sayapin A.S., et al. Improving the Human-Machine-Environment Monitoring System and Operation Rules for Increasing Operational Tractor Reliability. *Tekhnicheskij servis mashin = Machinery Technical Service*. 2020; (3):12-20. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2020-58-3-12-20>
10. Pavlov A.I., Tarbeev A.A. The Method of Determining the Strategy of Replacing High Pressure Hoses, Hydraulic Transport and Technological Machines. *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii = Modern High Technologies*. 2018; (4):108-112. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.17513/snt.36968>
11. Mandal S.K., Singh A.K., Verma Y., Dasgupta K. Performance Investigation of Hydrostatic Transmission System as a Function of Pump Speed and Load Torque. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series C*. 2012; (93):187-193. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1007/s40032-012-0022-4>
12. Michelson S., Mueller M., Schurman B. Hydraulic Test Bench Circuit Construction, Testing and Analysis. *The Journal of Undergraduate Research*. 2012; 10:116-127. Available at: <http://openprairie.sdstate.edu/jur/vol10/iss1/9> (accessed 10.07.2021). (In Eng.)
13. Ding H., Zhao J. Performance Analysis of Variable Speed Hydraulic Systems with Large Power in Valve-Pump Parallel Variable Structure Control. *Journal of Vibroengineering*. 2014; 16(2):1042-1062. Available at: <https://jvejournal.com/article/14974> (accessed 10.07.2021). (In Eng.)
14. Rylyakin E.G. The Effect of Physico-Chemical Composition of Micro-Particles Contamination of Diesel Fuel on the Technical Condition of the Power Supply System of Diesel Engines. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2019; 10(2):334-337. Available at: [https://www.rjpbcs.com/pdf/2019_10\(2\)/\[46\].pdf](https://www.rjpbcs.com/pdf/2019_10(2)/[46].pdf) (accessed 10.07.2021). (In Eng.)
15. Sumanov A.I. [Hydrotester]. Patent 123,478 Russian Federation. 2012 December 27. 5 p. Available at: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=123478&TypeFile=html (accessed 10.07.2021). (In Russ.)

16. Makarkin I.M., Dancov A.A., Filippova E.M., et al. The Experience of Introducing Equipment for Diagnosis, Quality Control of the Manufacture and Repair of Hydraulic Units, Power Transmission Equipment. *Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* = Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. 2019; (4-2):135-144. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39217463> (accessed 10.07.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
17. Elshorbagy K.A., Kandil H., Latif M.R. Development of a Multi-Functional Hydraulic Test Stand. *Journal of Scientific and Engineering Research*. 2018; 5(1):123-132. Available at: <http://jsaer.com/download/vol-5-iss-1-2018/JSAER2018-05-01-123-132.pdf> (accessed 10.07.2021). (In Eng.)
18. Pavlov A.I., Egorov A.V., Polyani I.A., Kozlov K.E. A Method for Functional Diagnosis of Hydraulic Drives of Forest Machinery. *International Journal of Environmental and Science Education*. 2016; 11(18):11331-11340. Available at: <http://www.ijese.net/makale/1530.html> (accessed 10.07.2021). (In Eng.)
19. Rydberg K.-E. Hydraulic Fluid Properties and Their Impact on Energy Efficiency. In: The 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power (Sweden) (3-5 June 2013). Linköping: Linköping University Electronic Press; 2013. p. 447-453. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.3384/ecp1392a44>
20. Chumakov P.V., Martynov A.V., Kolomeychenko A.V., et al. Evaluation of Technical Condition of Round Gear Hydraulic Pumps of Tractor Mounted Hydraulic Systems. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2020; 30(3):426-447. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202003.426-447>
21. Ding H., Liu Y., Zhao Ya. A New Hydraulic Synchronous Scheme in Open-Loop Control: Load-Sensing Synchronous Control. *Measurement and Control*. 2020; (53):119-125. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1177/0020294019896000>
22. Skorek G. The Opportunities for Getting Energy Savings in the Hydrostatic Drive System. *Journal of KONES. Powertrain and Transport*. 2014; 21(2):273-280. Available at: https://kones.eu/ep/2014/vol21/no2/Journal_of_KONES_2014_No_2_Vol_21_ISSN_1231-4005_SKOREK.pdf (accessed 10.07.2021). (In Eng.)
23. Pavlov A.I., Tarbeev A.A., Egorov A.V., et al. Method for Determining the Optimal Operating Time before Replacement of High-Pressure Hoses of Hydraulic Drives of Transport and Technological Machines. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020; 1515. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/4/042065>
24. Ionov P.A., Senin P.V., Zemskov A.M., et al. [Development of Software for the Test Bench of the Technical Condition of Volumetric Hydraulic Drives]. Patent 187,833 Russian Federation. 2019 March 19. 9 p. Available at: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=187833&TypeFile=html (accessed 10.07.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
25. Velichko S.A., Martynova E.G., Ivanov V.I. The Assessment of the Limit State of the Vacuum Piston Type Dough Divider by Oil Consumption. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2020; 30(3):448-463. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202003.448-463>

Submitted 21.07.2021; approved after reviewing 26.08.2021; accepted for publication 30.09.2021

About the authors:

Sergey V. Pyanzov, Lab Technician of the Technical Service Machines Chair of Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5845-1635>, Researcher ID: B-1548-2019, serega.pyanzov@yandex.ru

Petr V. Senin, Head of the Technical Service Machines Chair of Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3400-7780>, Researcher ID: H-1219-2016, senin53@mail.ru

Pavel A. Ionov, Associate Professor of the Technical Service Machines Chair of Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St.,

Saransk 430005, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9794-0071>, Researcher ID: S-7146-2018, resurs-ime@yandex.ru

Aleksey V. Stolyarov, Associate Professor of the Technical Service Machines Chair of Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5898-0150>, Researcher ID: G-8460-2016, cabto@mail.ru

Alexander M. Zemskov, Associate Professor of the Technical Service Machines Chair of Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1489-6077>, Researcher ID: S-7748-2018, zam503@mail.ru

Mikhail V. Ilyin, Associate Professor of the Chair of Electronics and Nanoelectronics of Institute of Electronics and Light Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9495-2672>, Researcher ID: P-2398-2016, imikev@mail.ru

Igor N. Kravchenko, Professor of the Chair of Technical Service Department of Machinery and Equipment, Russian Timiryazev State Agrarian University (49 Timiryazevskaya St., Moscow 127550, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>, Researcher ID: B-9463-2018, kravchenko-in71@yandex.ru

Contribution of the authors:

S. V. Pyanzov – preparing the text with subsequent revision, analyzing literary data, software implementation of the software algorithm.

P. V. Senin – scientific guidance, developing the requirements list of the program.

P. A. Ionov – analyzing and revising the text, developing the program algorithm.

A. V. Stolyarov – preparing and analyzing literary data, finalizing the text, developing the program specification.

A. M. Zemskov – finalizing the text, formalizing the task of the program.

M. V. Ilyin – writing the source code of the program.

I. N. Kravchenko – conducting critical analysis of research, analysis and revision of text.

All authors have read and approved the final manuscript.