

## СИСТЕМА МОБИЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ГИДРОПРИВОДА НАВЕСНЫХ УСТРОЙСТВ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ТРАКТОРОВ

*Доктора техн. наук БАСИНЮК В. Л.<sup>1)</sup>, КАЛИНИЧЕНКО А. С.<sup>2)</sup>,  
кандидаты техн. наук УСС И. Н.<sup>3)</sup>, МАРДОСЕВИЧ Е. И.<sup>1)</sup>,  
инженеры ПАПИНА С. С.<sup>4)</sup>, ЛАПАНОВИЧ И. О.<sup>2)</sup>*

<sup>1)</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,

<sup>2)</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>3)</sup>ООО «Проммединвестгрупп»,

<sup>4)</sup>Государственное научно-производственное объединение «Планар»

Повышение мощности и энергонасыщенности тракторов «Беларус» и расширение их функциональных возможностей привело к существенному усложнению и удорожанию гидроприводов навесных устройств, в основном базирующихся на применении аксиально-поршневых насосов с регулируемой подачей A10CNO45 фирмы Bosch-Rexroth [1]. Учитывая их высокую стоимость, важной задачей стало предотвращение внезапных отказов гидроприводов, в ряде случаев представляющих экологическую опасность, сохранение контроля за расходом ресурса их работы, а также оптимизация режимов использования гидропривода в составе трактора. Поэтому одной из важных задач повышения конкурентоспособности энергонасыщенных тракторов «Беларус» является разработка отечественных систем контроля основных параметров гидроприводов в реальном времени, позволяющих получить оперативную достоверную информацию о состоянии их основных компонентов и прогнозировать остаточный ресурс [2].

Потеря работоспособности гидропривода навесных устройств при эксплуатации трактора, как правило, происходит постепенно вследствие увеличения зазоров между деталями из-за износов трущихся сопряжений и возрастания через них утечек. Это приводит к уменьшению КПД гидропривода, снижению скоростей выдвигания штоков гидроцилиндров и изменению тепловых режимов их функционирования. Поэтому в качестве комплексного косвенного

параметра, характеризующего техническое состояние гидропривода навесных устройств трактора, может быть принят его КПД [3].

Целью проводимых авторами исследований являлась разработка функционально ориентированной бортовой системы мобильного мониторинга технического состояния гидроприводов навесных устройств энергонасыщенных тракторов «Беларус». Решаемые при создании такой системы задачи можно разделить на две группы:

- сбор, обработка и систематизация информации о нагрузочных (по давлению), скоростных (по частоте работы ДВС) и тепловых (по температуре рабочей жидкости в гидроприводе) режимах функционирования;
- выделение из формируемых данных наиболее информативных режимов функционирования и их использование для оценки технического состояния и остаточного ресурса гидропривода и его основных компонентов.

Решение приведенных выше задач позволяет не только осуществить оперативную оценку технического состояния гидроприводов, но и сформировать базу данных о реальных скоростных и нагрузочных режимах их функционирования, изменениях во времени технического состояния и остаточного ресурса его основных компонентов. Типовая схема современного гидропривода показана на примере энергонасыщенного трактора «Беларус-3022» (рис. 1), из которой видна ее сложность.

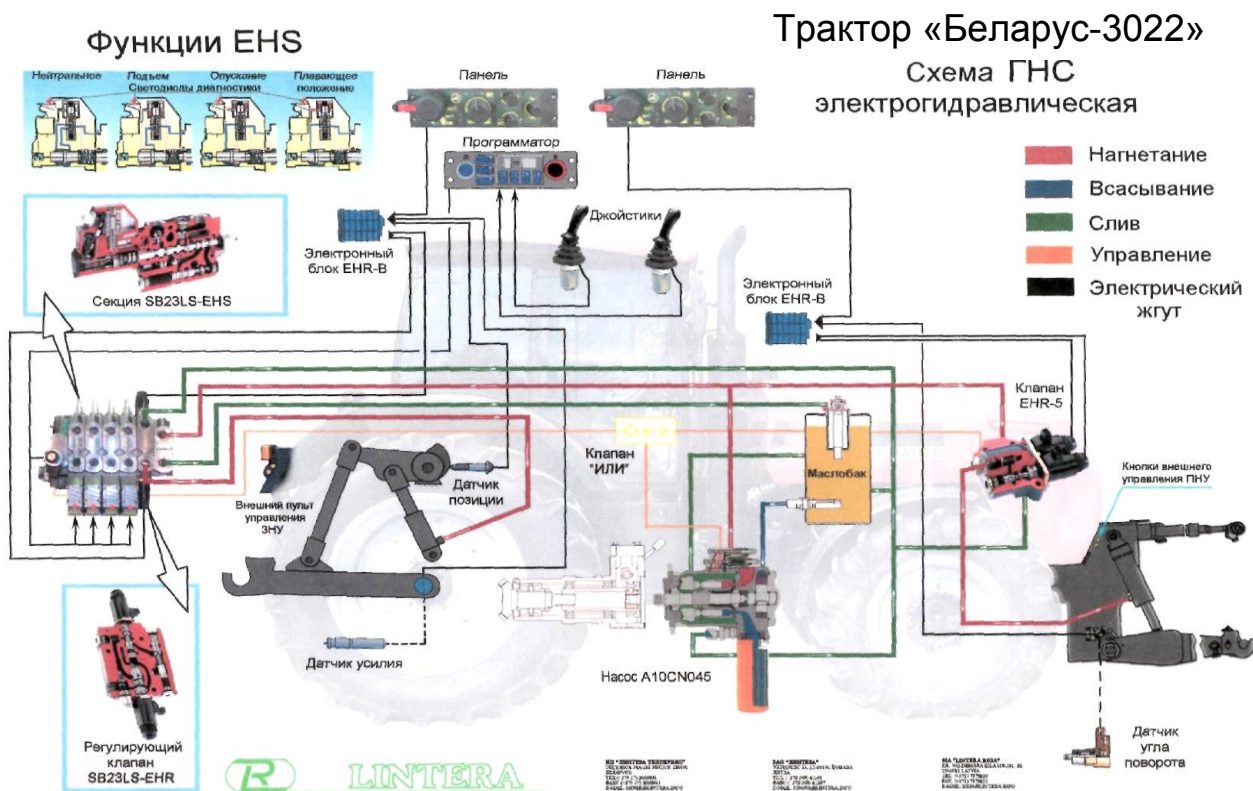


Рис. 1. Гидравлические схемы гидропривода трактора «Беларус-3022»

Как показал анализ результатов исследований [3–7], к одному из наиболее удобных параметров для создания автоматизированной микропроцессорной бортовой системы мониторинга технического состояния гидроприводов навесных устройств можно отнести давление в гидроприводе, регистрируемое во время подъема груза трактором. В частности, это параметры затухающих колебаний давления, обусловленные возникающими при подъеме груза собственными колебаниями массы, связанной со штоками гидроцилиндров переднего или заднего навесного устройства, а также трактора в целом. Частоты этих колебаний [3] несущественно зависят от частоты вращения двигателя трактора, с которым жесткой кинематической цепью связан насос гидропривода.

Интервал значений частот собственных колебаний для рассматриваемой группы тракторов «Беларус» составляет ориентировочно для заднего навесного устройства  $f_m = 9–12$  Гц, для переднего навесного устройства  $f_m = 4–8$  Гц, а для трактора в целом  $f_m = 1–3$  Гц [3]. При этом их амплитуда при нагрузках, составляющих

75–100 % от грузоподъемности, практически линейно зависит от массы поднимаемого груза и частоты вращения двигателя. Определенное влияние на эту величину оказывает температура рабочей жидкости, однако в ряде случаев этим влиянием можно пренебречь [3]. Типовая осциллограмма колебаний давления в гидроприводе при подъеме груза передним или задним навесным устройством показана на рис. 2. Схема системы мобильного мониторинга гидропривода навесных устройств энергонасыщенного трактора «Беларус» приведена на рис. 3.

Система мониторинга состоит из трех каналов съема диагностической информации. I канал для съема диагностической информации используется для регистрации параметров давления в гидроприводе навесных устройств. В его состав входят аналоговый датчик давления, программируемый усилитель, многоканальный контроллер с АЦП типа ADCU14-8D или специальный, разработанный для энергонасыщенных тракторов «Беларус» контроллер, показанный на рис. 4.

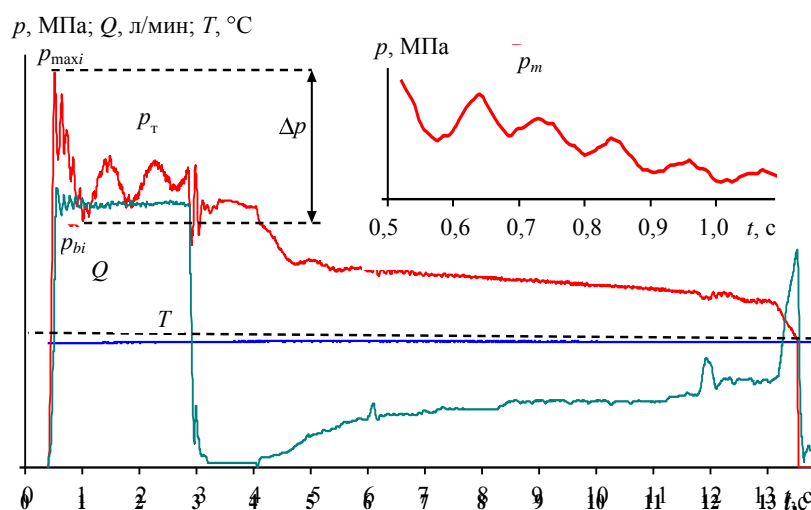


Рис. 2. Типовая осциллограмма колебаний давления в гидроприводе при подъеме груза:  $p$  – давление в гидроприводе, МПа;  $p_T$  – колебания давления, обусловленные собственными колебаниями трактора при подъеме груза, МПа;  $p_m$  – колебания давления, обусловленные колебаниями массы  $m$ , связанной со штоками гидроцилиндров, МПа;  $Q$  – расход рабочей жидкости, подаваемой аксиально-поршневым насосом в гидропривод, л/мин;  $T$  – температура рабочей жидкости, °С;  $t$  – время, с

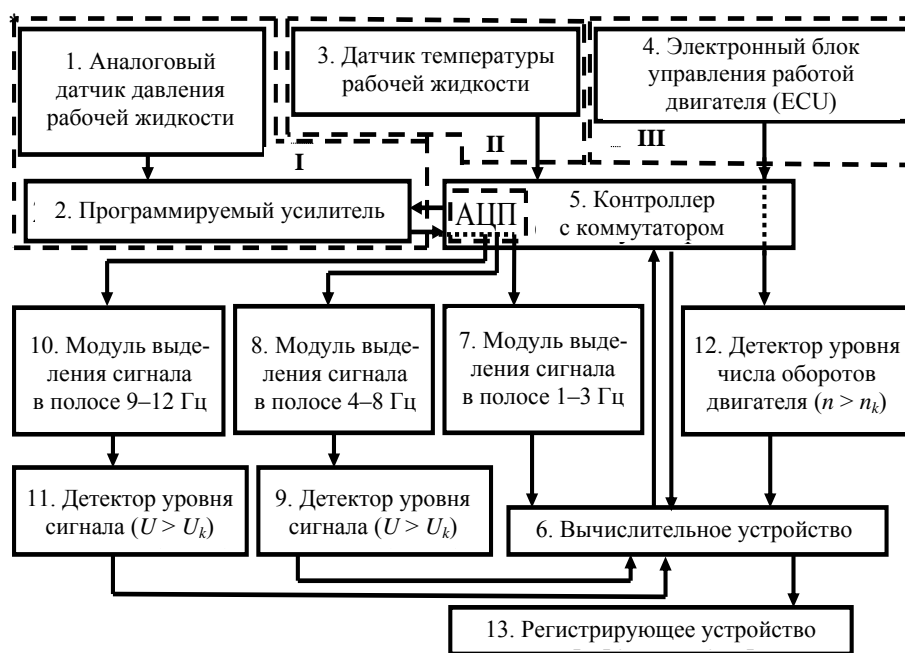


Рис. 3. Схема системы мобильного мониторинга



Рис. 4. Специальный контроллер с выводом через USB диагностической информации на внешний носитель, разработанный для мобильной системы мониторинга

II канал для съема диагностической информации используется для контроля температуры рабочей жидкости. При этом наиболее удобен выбранный в качестве базового цифровой датчик температуры типа DS 1820, размещенный в специальном корпусе и соединенный с соответствующим входом контроллера.

Поскольку в современных энергонасыщенных тракторах «Беларус» используются двигатели типа Duetz, для III канала съема диагностической информации о числе оборотов дви-

гателя целесообразно использовать внутреннюю систему контроля электронного блока управления (ECU) параметрами его функционирования. Цифровые данные о числе оборотов с этого блока через контроллер передаются на детектор уровня, пропускающий на бортовое вычислительное устройство диагностические данные в диапазоне  $0,75n_{\max} < n \leq n_{\max}$ . В вычислительное устройство в качестве вспомогательных поступают также данные о температуре рабочей жидкости.

Диагностические данные о параметрах давления перед их передачей в вычислительное средство разделяются по частоте колебаний широкополосными фильтрами с полосами пропускания 1–3 и 4–8 Гц и узкополосным фильтром с полосой пропускания 9–12 Гц.

Сигналы, выделенные в полосах частот 4–8 и 9–12 Гц, дополнительно детектируются по уровню. После обработки диагностических данных в вычислительном средстве они, при необходимости, выводятся на монитор и передаются в регистрирующее устройство. Наличие USB-выхода контроллера (рис. 4) позволяет передать эти данные на внешний носитель.

При работе навесного устройства трактора одновременно поступают цифровые данные с датчика температуры рабочей жидкости и системы контроля числа оборотов двигателя, а также аналогового датчика давления, сигнал с которого при необходимости усиливается программируемым усилителем до нормируемого уровня, преобразовывается в цифровой вид и разделяется на три потока:

а) колебания давления в диапазоне частот 1–3 Гц, по которым в вычислительном устройстве определяется масса связанного со штоками гидроцилиндров груза, и ее величина сравнивается с информативным (с позиций достоверности результатов мониторинга) диапазоном нагруженности (как правило, нагруженность должна быть более 80 % грузоподъемности навесного устройства);

б) колебания давления в полосе 4–8 Гц, поступление информации о которых в вычислительное устройство после прохождения через детектор уровня сигнала свидетельствует о том, что функционирует переднее навесное устрой-

ство и оно нагружено массой, превышающей 75 % грузоподъемности навесного устройства;

в) колебания давления с частотой 9–12 Гц, наличие которых свидетельствует о том, что функционирует заднее навесное устройство и оно нагружено массой, превышающей 75 % грузоподъемности навесного устройства.

При одновременном поступлении на вычислительное устройство диагностической информации с детектора уровня числа оборотов двигателя и одного из детекторов уровня сигнала о давлении в гидроприводе навесных устройств эта информация начинает регистрироваться до момента прекращения ее поступления. При этом вычислительным устройством осуществляется идентификация работы переднего или заднего навесного устройства и обработка диагностических данных по методике [3] с определением коэффициента полезного действия  $\eta_i$  гидропривода и ориентировочной оценки его остаточного ресурса  $T_{po}$ :

$$\eta_i = k_n \frac{\sum_{i=1}^n (p_{\max i} - p_{bi})}{\omega_d m}; \quad (1)$$

$$T_{po} = \Delta T_p \frac{\eta_r - \eta_{\min}}{\eta_0 - \eta_r}, \quad (2)$$

где  $k_n$  – коэффициент пропорциональности (рад·м·с), связывающий разность давлений  $p_{\max i} - p_{bi}$  (рис. 2) с коэффициентом полезного действия гидропривода навесного устройства  $\eta_i$  (значение  $k_n$  различно для переднего и заднего навесных устройств, оно определяется предварительно и вносится в память вычислительного устройства с учетом влияния температуры рабочей жидкости);  $p_{\max i}$ ,  $p_{bi}$  – максимальное и минимальное значения давления (Па), определяемые в соответствии со схемой, показанной на рис. 2, с использованием предварительно определенных коэффициентов пропорциональности, связывающих их значения с соответствующими напряжениями  $U_{p_{\max i}}$ ,  $U_{p_{bi}}$  (значения коэффициентов пропорциональности вносятся в память вычислительного устройства);  $n$  – число полных циклов нагружения навесного

устройства;  $\omega_d$  – угловая скорость вращения двигателя (рад/с);  $m$  – масса связанного со штоками гидроцилиндров переднего или заднего навесного устройства груза (кг);  $\eta_T$  – КПД гидропривода в момент диагностирования;  $\eta_{\min}$  – минимально допустимое значение КПД для гидропривода навесных устройств энергонасыщенных тракторов «Беларус»;  $\eta_0$  – исходное значение КПД гидропривода до начала эксплуатации;  $\Delta T_p$  – рассматриваемый период эксплуатации.

Апробацию предлагаемой системы мобильного мониторинга осуществляли на тракторе «Беларус-3022», в гидроприводе навесных устройств которого установлен аксиально-поршневой насос A10CNO45 фирмы Bosch-Rexroth. Рабочей жидкостью являлось гидравлическое масло Addinol Hydraulicoil HLP 32. Перед началом эксплуатации было установлено предельно допустимое минимальное значение КПД  $\eta_{\min} = 0,55$ . До начала диагностирования для оценки корректности определения КПД по параметрам колебания давления с использованием расходомера были определены:

- исходный КПД гидропривода до начала эксплуатации  $\eta_0 = 0,94$ ;
- КПД гидропривода после наработки с начала эксплуатации  $\eta_T = 0,63$ .

В процессе диагностирования температура рабочей жидкости составляла 48 °С, масса связанного со штоками гидроцилиндров груза –  $m = 5000$  кг, частота вращения двигателя –  $n \approx 210$  рад/с. После этого включали подачу полного объема рабочей жидкости в гидроцилиндры и в процессе перемещения их штоков от крайнего нижнего в крайнее верхнее положение с частотой  $f = 125$  Гц дискретизации аналоговых сигналов с датчиков давления и циф-

рового датчика температуры регистрировали значения давления  $p$  в гидроприводе. После трехкратного повторения идентичных циклов подъема груза из каждого  $i$ -го цикла зарегистрированных значений давления выделяли максимальное  $p_{\max i}$  и  $p_{bi}$  значения давления рабочей жидкости в гидроприводе навесного устройства (табл. 1). С их использованием рассчитывали величины разностей давлений  $(p_{\max} - p_{bi})_1, (p_{\max} - p_{bi})_2, (p_{\max} - p_{bi})_3$  и средние значения.

По результатам контроля гидропривода до начала эксплуатации рассчитывали значение коэффициента  $k_n$

$$k_n = \frac{\eta_0 \omega_d m}{P_{\max i} - P_{bi \text{ ср}}} = 0,374 \text{ (рад}\cdot\text{м}\cdot\text{с)}. \quad (3)$$

Коэффициент полезного действия изношенного гидропривода  $\eta_T$ , определенный из зависимости (1) с использованием данных, приведенных в табл. 1, равен

$$\eta_T = k_n \frac{\sum_{i=1}^n P_{\max i} - P_{bi}}{nom_{\max}} = 0,61. \quad (4)$$

Отклонение значения КПД, определенного с использованием разности давлений, отличается от соответствующего значения КПД, найденного с использованием универсальных средств, не превысило 3 %, что вполне приемлемо с инженерной точки зрения.

Ориентировочное значение остаточного ресурса при сохранении ранее используемых режимов эксплуатации гидропривода составляет

$$T_{po} = \Delta T_p \frac{\eta_T - \eta_{\min}}{\eta_0 - \eta_T} \approx 0,18 \Delta T_p. \quad (5)$$

Таблица 1

Диагностические данные и результаты их обработки

Параметр	Гидропривод до начала эксплуатации				Частично изношенный гидропривод			
	Параметры давления, $\times 10^{-6}$ Па							
	1	2	3	Средний	1	2	3	Средний
$P_{\max i}$	12,43	11,61	11,99		10,53	10,94	11,01	
$p_b$	9,24	9,30	9,57		9,11	9,08	9,14	

$P_{\max i} - P_{bi}$	3,19	2,31	2,42	2,64	1,42	1,86	1,87	1,72
-----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------

Продление ресурса работоспособности гидропривода может быть обеспечено путем перевода трактора на выполнение технологических операций, обуславливающих его меньшую нагрузку. В противном случае целесообразно планирование ремонтных работ через интервал времени, соответствующий  $0,18\Delta T_p$  периода эксплуатации.

### ВЫВОД

В основу разработки мобильной системы мониторинга гидроприводов навесных устройств энергонасыщенных тракторов «Беларус» был положен принцип максимально возможного использования технических возможностей внутренних систем мониторинга основных компонентов трактора, в частности внутренняя система контроля электронного блока управления параметрами его функционирования (ECU) двигателем типа Duetz и цифровых первичных преобразователей типа датчика температуры DS 1820. В сочетании с применением методики мониторинга, предложенной в [3], это позволяет не только сформировать эффективную импортозамещающую систему мониторинга технического состояния гидроприводов, но и

сформировать базу данных о реальных режимах ее функционирования в эксплуатации и перейти к обслуживанию и ремонту гидропривода по его фактическому состоянию.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Руководство** по эксплуатации трактора «Беларус-3222/3522»: 3522-0000010 РЭ / И. Н. Усс [и др.]. – 2010. – 377 с.
2. **Инновационные** пути развития тракторов «Беларус» / И. Н. Усс [и др.] // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2010. – № 1 (13).
3. **Усс, И. Н.** Мониторинг технического состояния приводных систем тракторов «Беларус» / И. Н. Усс, В. Л. Басинюк, Е. И. Мардосевич. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2008. – 278 с.
4. **Диагностика** технического состояния гидроприводов машин / В. Л. Басинюк [и др.] // *Вестник БГТУ. Машиностроение*. – 2002. – № 4 (16). – С. 38–40.
5. **Усс, И. Н.** Мониторинг технического состояния приводных систем тракторов «Беларус» / И. Н. Усс, В. Л. Басинюк, Е. И. Мардосевич. – Гомель: ИММС НАН Беларуси. – 278 с.
6. **Мобильный** мониторинг технического состояния гидроприводов тракторов / И. Н. Усс [и др.] // *Инновации в машиностроении: сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. ОИМ НАН Беларуси, Минск, 30–31 окт. 2008 г. / ОИМ НАН Беларуси; редкол.: М. С. Высоцкий [и др.]. – Минск, 2008. – С. 280–287.*

Поступила 08.07.2013

УДК 69.002.5-82

## ФОРМИРОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН

*Канд. техн. наук, доц. КОТЛОБАЙ А. Я., инж. КОТЛОБАЙ А. А., канд. воен. наук, доц. ТАМЕЛО В. Ф.*

*Белорусский национальный технический университет*

На вооружении в частях и соединениях инженерных войск находится землеройная техника: путепрокладчики, траншейные машины, котлованные машины, универсальные землеройные машины, одноковшовые экскаваторы. Модернизация землеройных машин инженер-

ного вооружения может проводиться по ряду направлений на базе промышленных предприятий транспортного машиностроения, тракторостроения Республики Беларусь.

Первое направление модернизации военно-инженерных землеройных машин предполагает