

УДК 625.7.08.002.5; 616-07; 62-187

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИДРОАГРЕГАТОВ

Г.Г. Пимонов, доцент, к.т.н., И.Г. Пимонов, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Аннотация. Решается проблема повышения эффективности строительных машин совершенствованием диагностирования их гидроагрегатов на базах механизации в направлении улучшения их качественных показателей, производится определение значений этих показателей и их сравнительная оценка.

Ключевые слова: гидропривод, диагностический стенд, система диагностических параметров, погрешность диагностирования и её составляющие.

ВДОСКОНАЛЕННЯ СТАЦІОНАРНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ГІДРОАГРЕГАТІВ

Г.Г. Пімонов, доцент, к.т.н., І.Г. Пімонов, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Анотація. Вирішується проблема підвищення ефективності будівельних машин вдосконаленням діагностування їх гідроагрегатів на базах механізації у напрямі поліпшення їх якісних показників, проводиться визначення значень цих показників та їх порівняльна оцінка.

Ключові слова: гідропривід, діагностичний стенд, система діагностичних параметрів, похибка діагностування та її складові.

IMPROVING STATIONARY TOOLS FOR HYDRAULIC UNIT DIAGNOSTICS

G. Pimonov, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences,
I. Pimonov, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, KhNAHU

Abstract: Efficiency of construction machinery has been increased by improving the diagnostics of their hydraulic units on the basis of mechanization aimed to improve their qualitative indices. Values of these indices have been calculated, and their comparative assessment has been made.

Key words: hydraulic drive, hydraulic test bench, diagnostic system, diagnostic error and its components.

Введение

Надёжность и производительность вместе с затратами на их обеспечение являются основными показателями, определяющими эффективность строительных машин [1, 2, 3]. Эти показатели формируются на стадии проектирования, изготовления и поддерживаются на необходимом уровне в процессе эксплуатации системой технического обслуживания и ремонта, которая оказывается эффективной при применении профилактических замен по результатам планового периодического диагностирования.

Анализ публикаций

Решение о возможности эксплуатации агрегата до следующего технического обслуживания принимается в зависимости от его остаточного ресурса, определяемого диагностическим оборудованием.

Качество диагностирования стационарным оборудованием баз механизации определяется такими показателями, как стоимость, достоверность, глубина диагностирования [1, 2, 3, 4]. Основным показателем, определяющим достоверность, является погрешность диагностирования [3].

Глубина диагностирования на уровне всего гидропривода целесообразна при испытаниях, связанных с оценкой качества вновь разработанного, усовершенствованного, изготовленного или отремонтированного гидропривода, при управлении и автоматизации процессов работы гидропривода. Глубина диагностирования на уровне детали или элемента гидроагрегата оказывается невостребованной в условиях эксплуатации строительных машин. Поэтому рационально и достаточно обеспечивать глубину диагностирования на уровне гидроагрегата [5].

Кроме этого, применительно к диагностическому оборудованию баз механизации предъявляется требование универсальности, т.к. парк строительной организации в большинстве случаев состоит из разномарочных машин.

На заводах, изготавливающих или ремонтирующих гидроагрегаты, широко используются промышленные стенды для определения качества и обкатки массовой продукции. Эти стенды осуществляют статопараметрический метод диагностирования, используя, например, для насосов следующую систему диагностических параметров [6]

$$Q_n = f_1(p, n, t, S), \quad (1)$$

где Q_n – подача насоса; $p = p_1 - p_2$ – разность давлений на входе и выходе гидроагрегата; n – частота вращения вала диагностируемого насоса; S – параметры, определяющие величину зазоров; t – температура рабочей жидкости, определяющая её вязкость.

Для осуществления диагностирования на этих стендах затрачивается энергия [6]

$$A = N \cdot \tau = p \cdot n \cdot q_0 \cdot \tau, \quad (2)$$

где N – необходимая мощность привода стенда; τ – время диагностирования; q_0 – рабочий объём диагностируемого насоса.

Цель и задачи исследования

Целью работы является повышение эффективности строительных машин совершенствованием диагностирования их гидроагрегатов на базах механизации. Для достижения этой цели решаются следующие задачи:

– совершенствуются стационарные средства диагностирования в направлении улучшения их качественных показателей;

– производится определение значений этих показателей и их сравнительная оценка.

Улучшение качественных показателей стационарных средств диагностирования гидроагрегатов, их определение и сравнительная оценка

Применительно к строительным организациям, для которых промышленные стенды дороги и используются нерационально, разработано оборудование, осуществляющее диагностирование на основе следующей системы диагностических параметров [6]

$$\tau_{\Pi} = f_2(p, t, f_{\text{др}}, S). \quad (3)$$

Эта система включает в себя постоянные параметры и воспроизводимые постоянными диагностические параметры (давление p и температуру t рабочей жидкости, площадь дросселя постоянного сечения $f_{\text{др}}$) и определяющий диагностический параметр (время τ_{Π} разрядки гидроаккумулятора через зазоры гидроагрегата).

На стендах могут быть установлены грузовые, пружинные и гидравлические аккумуляторы [7]. Грузовые аккумуляторы обеспечивают постоянное давление рабочей жидкости и независимость этого давления от температуры окружающей среды. Пружинные аккумуляторы имеют только последнее преимущество. Однако и пружинные, и особенно грузовые гидроаккумуляторы имеют большую массу. Перспективными для стендов являются компактные газогидравлические аккумуляторы. Редукционный клапан, установленный на выходе газогидроаккумулятора, обеспечивает постоянное давление в процессе разрядки и независимость этого давления от температуры окружающей среды.

Энергозатраты для проведения диагностирования насоса на разработанном стенде следующие [6]

$$A'_1 = N_1 \cdot \tau_2 = p \cdot n_1 \cdot V_{01} \cdot \tau_2, \quad (4)$$

где N_1 – необходимая для зарядки аккумулятора мощность приводного двигателя разработанного стенда; τ_2 – время зарядки гидроаккумулятора стенда; n_1 – частота вращения насоса стенда; q_{01} – рабочий объем насоса стенда.

Необходимую мощность привода стенда удалось снизить более чем на порядок. Это повлекло за собой уменьшение массы, габаритов стенда и количества рабочей жидкости, необходимого для его работы, и, в итоге, удалось снизить стоимость диагностического оборудования. Однако разработанный стенд не лишён следующего недостатка: погрешность диагностирования на нём возрастает, в зависимости от коэффициента подачи, от 3–5 % (для новых насосов) до 90 % и более для насосов с техническим состоянием, близким к предельному [6], что снижает точность прогнозирования их остаточного ресурса. Прогнозирование остаточного ресурса и выявление неисправного гидроагрегата является основной задачей диагностики в условиях эксплуатации [4]. Для устранения этого недостатка система диагностических параметров (3) была заменена следующей

$$R = f_2(p, n, t, f_{др}, S). \quad (5)$$

Процесс определения технического состояния, например, насосов в этом случае происходит следующим образом. Насос стенда заполняет рабочей жидкостью гидроаккумулятор. Постоянный объем рабочей жидкости из гидроаккумулятора, через распределитель и редукционный клапан, направляется к диагностируемому насосу, на выходе которого устанавливается дроссель – сопло для увеличения скорости движения рабочей жидкости. При помощи измерительного блока определяется реакция струи рабочей жидкости, продавливаемой через зазоры в насосе. По значению этой реакции определяется техническое состояние гидроагрегата: чем больше зазоры, тем больше значение реакции и наоборот. Значение реакции струи рабочей жидкости определяется по формуле, полученной на основе уравнения количества движения жидкости [7]. Для разработанного стенда в случае плоской и неподвижной стенки диаметром больше шести диаметров сечения струи и расположенной перпендикулярно к направлению потока расчетное усилие его реакции на стенку для установившегося движения будет равно

$$R = mu = \frac{Q_{вн} u \gamma}{g}, \quad (6)$$

где m и $Q_{вн}$ – масса и секундный расход жидкости (внутренние перетечки в насосе); u – средняя скорость потока жидкости.

Так как $u = \frac{Q_{вн}}{f_{др}}$, зависимость (6) можем представить следующим образом

$$R = Q_{вн}^2 \left(\frac{\gamma}{f_{др} g} \right); \quad (7)$$

$$Q_{вн} = Q_{вп} + Q_{вр}, \quad (8)$$

где $Q_{вп}$ – внутренние перетечки по зазорам в поршнях насоса; $Q_{вр}$ – внутренние перетечки по зазорам в распределителе насоса; $f_{др}$ – площадь дросселя постоянного сечения на выходе диагностируемого гидроагрегата.

Выражение (8) представим в развернутом виде [8]

$$Q_{вп} = \pi \cdot d \cdot \left(\frac{\rho \cdot S_{п}^3}{12 \cdot \mu \cdot L} + \frac{V_{ср} S_n}{2} \right) \cdot z_{пр}, \quad (9)$$

$$Q_{вр} = \left[(p_1 - p_0) - \frac{3\rho\omega^2}{20} (r_2^2 - r_1^2) \right] \frac{\pi S_{рн}^3}{6\mu \ln \frac{r_1}{r_2}}, \quad (10)$$

где d – диаметр поршня насоса; $S_{п}$ – поршневой зазор; μ – динамическая вязкость рабочей жидкости; γ – объемный вес (весовая плотность); g – ускорение силы тяжести; L – длина уплотняющего участка поршня; $z_{пр}$ – количество поршней, нагнетающих рабочую жидкость; r_1 – внутренний радиус распределителя насоса; r_2 – внешний радиус распределителя насоса; $S_{п}$, $S_{рн}$ – соответственно величины поршневых зазоров и в распределителе насоса.

Выразим зазоры в насосе через один, например, поршневой

$$S_p = A_1 S_{п}. \quad (11)$$

Учитывая неподвижность вала насоса, можем записать следующее выражение

$$F_c = R - \frac{\gamma}{f_{др} g} \times \left(\frac{\pi dz_{пр} p S_n^3}{12\mu \left(\frac{50}{t}\right)^m L} + p \frac{\pi A_1^3 S_n^3}{6\mu \left(\frac{50}{t}\right)^m \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \right)^2 = 0, \quad (12)$$

где m – показатель, определяющий степень зависимости вязкости рабочей жидкости от температуры; t – температура рабочей жидкости.

Между диагностическими параметрами существует корреляционная связь с коэффициентом корреляции 0,98–0,999 [5]. Следовательно, общая погрешность диагностирования определяется как сумма составляющих от погрешностей измерения диагностических параметров [9, 10]. На основе формулы (12), используя рекомендации [9] и методику работы [5], получим уравнение для определения погрешности диагностирования насоса на стенде. На основе дифференциала функции (12) по диагностическим параметрам и зазорам в насосе (13) получим

$$\frac{\partial F_c}{\partial R} \Delta R + \frac{\partial F_c}{\partial p} \Delta p + \frac{\partial F_c}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial F_c}{\partial f_{др}} \Delta f_{др} + \frac{\partial F_c}{\partial S_n} \Delta S_n = 0, \quad (13)$$

$$\Delta S_n = \left(\frac{\partial F_c}{\partial S_n} \right)^{-1} \times \left(\frac{\partial F_c}{\partial R} \Delta R + \frac{\partial F_c}{\partial p} \Delta p + \frac{\partial F_c}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial F_c}{\partial f_{др}} \Delta f_{др} \right) = \Delta S_R + \Delta S_p + \Delta S_t + \Delta f_{нд}, \quad (14)$$

где ΔS_n ; ΔS_R ; ΔS_p ; ΔS_t ; $\Delta f_{нд}$ – соответственно, общая погрешность диагностирования и её составляющие от отдельных диагностических параметров (реакции струи рабочей жидкости, давления, температуры, а также неточности изготовления дросселя постоянного сечения); $\Delta R = 0,02R_{\max}$; $\Delta p = 0,02p$; $\Delta t = 0,02t$; $\Delta f = 0,02f$ – абсолютные погрешности измерения диагностических параметров, а также погрешность изготовления дросселя постоянного сечения в случае применения, как то-

го требуют стандарты [9], приборов второго класса точности;

$$\frac{\partial F_c}{\partial R} \Delta R = \Delta R; \quad (15)$$

$$\frac{\partial F_c}{\partial p} \Delta p = 2Q_{вн} \frac{\gamma}{f_{др} g} \cdot \left(\frac{\pi dz_{пр} S_n^3}{12\mu_0 \left(\frac{50}{t}\right)^m L} \right) \Delta p; \quad (16)$$

$$\frac{\partial F_c}{\partial t} \Delta t = 2Q_{вн} \frac{\gamma}{f_{др} g} \times \left(\frac{\pi dz_{пр} p S_n^3}{12\mu_0 50^m L} m t^{m-1} + p \frac{\pi A_1^3 S_n^3}{6\mu_0 50^m \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} m t^{m-1} \right) \Delta t; \quad (17)$$

$$\frac{\partial F_c}{\partial f_{др}} \Delta f_{др} = Q_{вн}^2 \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{\Delta f_{др}}{f_{др}^2}; \quad (18)$$

$$\frac{\partial F_c}{\partial S_n} \Delta S_n = 6 \frac{\gamma}{f_{др} g} Q_{вн} \times \left(\frac{\pi dz_{пр} S_n^2 + \pi dz_{пр} \frac{n}{60} b}{12\mu_0 \left(\frac{50}{t}\right)^m L} + p \frac{\pi A_1^3 S_n^2}{6\mu \left(\frac{50}{t}\right)^m \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \right) \Delta S_n; \quad (19)$$

Относительная погрешность диагностирования насоса определяется

$$\delta S_n = \frac{\Delta S_n}{S_n}. \quad (20)$$

Уравнения (14–19) содержат значения зазоров и значения соотношений между зазорами (A_1), остающиеся неизвестными после диагностирования. Преобразовав формулы (14–19) по методике, предложенной в работе [5], получим следующую зависимость для определения относительной погрешности диагностирования насоса в случае неизвестных значений его зазоров

$$\delta S_{\Pi} = \frac{0,02R_{\max} + 2 \cdot \frac{\gamma}{f_{\text{др}}g} \cdot Q_{\text{вн}}^2 \cdot \delta p}{6 \cdot \frac{\gamma}{f_{\text{др}}g} \cdot Q_{\text{вн}}^2} + \frac{2m \cdot \frac{\gamma}{f_{\text{др}}g} \cdot Q_{\text{вн}}^2 \cdot \delta t + Q_{\text{вн}}^2 \cdot \frac{\gamma}{g \cdot f_{\text{др}}} \cdot \delta f_{\text{др}}}{6 \cdot \frac{\gamma}{f_{\text{др}}g} \cdot Q_{\text{вн}}^2} = (21)$$

$$= \delta S_{\text{нR}} + \delta S_{\text{нр}} + \delta S_{\text{нт}} + \delta S_{\text{нф}},$$

где $0,02R_{\max} = \delta R$, δp , δt , $\delta f_{\text{др}}$ – соответственно относительные погрешности измерения реакции струи, давления и температуры рабочей жидкости, и площади дросселя постоянного сечения; $\delta S_{\text{нR}}$, $\delta S_{\text{нр}}$, $\delta S_{\text{нт}}$, $\delta S_{\text{нф}}$ – соответственно составляющие относительной погрешности диагностирования насоса от измерения реакции струи, давления и температуры рабочей жидкости, площади дросселя постоянного сечения.

Значения относительных погрешностей, рассчитанные по полученным уравнениям для случаев, когда зазоры известны (14, 20) и когда они не определены (21), практически совпадают.

Значения относительной погрешности диагностирования насоса в зависимости от его коэффициента подачи для систем диагностических параметров (3) и (5) приведены в табл. 1.

Таблица 1 Значения относительных погрешностей диагностирования

Определяющий параметр	$Q_{\text{н}}$	R
Воспроизводимые параметры	p, t, n	$p, t, f_{\text{др}}$
Значение η	значения относительных погрешностей	
0,98	0,77	1,99
0,95	0,30	0,29
0,90	0,16	0,09
0,85	0,11	0,05
0,80	0,09	0,04
0,75	0,07	0,03
0,70	0,065	0,03
0,65	0,06	0,03
0,60	0,05	0,03

Из полученных данных следует, что система с подачей $Q_{\text{н}}$ в качестве определяющего диагностического параметра обеспечивает сле-

дующее. С увеличением зазоров и внутренних перетечек в насосе погрешность диагностирования уменьшается с 77 % для насосов с $\eta = 0,98$ до 5 % для насосов с $\eta = 0,6$.

Система с реакцией струи рабочей жидкости R в качестве определяющего диагностического параметра обеспечивает уменьшение погрешности с 200 % для насосов с $\eta = 0,98$ до 3 % для насосов с $\eta = 0,6$. Причём практически для всех насосов, имеющих значимый эксплуатационный износ (до $\eta = 0,9$), погрешность диагностирования не превышает 9 %.

В эксплуатирующих организациях с наибольшей точностью необходимо измерять насосы и другие гидроагрегаты с техническим состоянием, близким к предельному, для решения вопроса о целесообразности дальнейшей эксплуатации этих гидроагрегатов. Такое распределение погрешности и обеспечивает разработанный стенд (табл. 1).

Относительная погрешность диагностирования состоит из составляющих $\delta S_{\text{нR}}$, $\delta S_{\text{нр}}$, $\delta S_{\text{нт}}$, $\delta S_{\text{нф}}$, значения которых приведены в табл. 2.

Таблица 2 Составляющие относительной погрешности диагностирования насоса

Значение η	Значения составляющих			
	δR	δp	0,013	$\delta f_{\text{др}}$
0,98	1,97	0,007	0,013	0,003
0,95	0,27	0,007	0,013	0,003
0,9	0,06	0,007	0,013	0,003
0,85	0,03	0,007	0,013	0,003
0,8	0,01	0,007	0,013	0,003
0,75	0,01	0,007	0,013	0,003
0,7	0,006	0,007	0,013	0,003
0,65	0,005	0,007	0,013	0,003
0,6	0,004	0,007	0,013	0,003

Определяющий диагностический параметр (реакции струи рабочей жидкости R) по своему значению является основным по величине в данной системе. С уменьшением коэффициента подачи насоса этот вклад уменьшается и теряет своё доминирующее значение при $\eta \approx 0,8$ (табл. 2). Начиная с этого значения коэффициента подачи, наибольшей является составляющая от погрешности измерения температуры (вязкости).

Информация о вкладах диагностических параметров в общую погрешность диагностирования позволяет подобрать рациональный комплект средств измерений, обеспечивающих заданную погрешность минимальной стоимостью этих средств, или заданной стоимостью обеспечить минимальную погрешность [5].

Необходимо установить соответствие значений диагностических параметров полученной по разработанной системе (5) и стандартной (3). Связь между этими системами устанавливается на основе зависимостей (7 и 12)

$$Q_{\text{вн}} = K_1 \sqrt{R}, \quad (22)$$

где K_1 – постоянные величины.

Используя зависимости (7 и 12), определяем относительные изменения внутренних перетечек (например, насоса АПН 210) в зависимости от частоты вращения его вала

$$k = \frac{Q_0}{Q_{\text{вн}}} \quad (23)$$

где Q_0 , $Q_{\text{вн}}$ – соответственно внутренние перетечки при номинальной частоте вращения, устанавливаемой стандартами и нормативами, и при фактической частоте диагностирования. В наибольшей степени влияние частоты вращения на внутренние перетечки проявляются у насосов с высоким коэффициентом подачи (рис. 1).

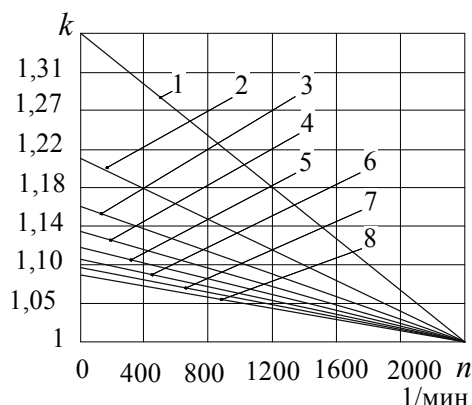


Рис. 1. Влияние частоты вращения насоса на относительное изменение внутренних перетечек: 1 – $\eta = 0,95$; 2 – $\eta = 0,90$; 3 – $\eta = 0,85$; 4 – $\eta = 0,80$; 5 – $\eta = 0,75$; 6 – $\eta = 0,70$; 7 – $\eta = 0,65$; 8 – $\eta = 0,60$

Перетечки в насосах с коэффициентом подачи $\eta = 0,95$ при номинальной частоте их вращения и при отсутствии вращения отличаются в 1,75 раза, а с коэффициентом подачи $\eta = 0,6$ – в 1,16 раза. Эта методическая погрешность диагностирования компенсируется следующим образом.

Значение утечек в насосе $Q_{\text{н}}$, при номинальной частоте его вращения, отличается от утечек в заторможенном насосе $Q_{\text{вн}}$, которые измеряются при диагностировании, на величину $Q_{\text{дн}}$, т.е. $Q_{\text{н}} = Q_{\text{вн}} - Q_{\text{дн}}$. Используя метод наименьших квадратов и аппроксимируя зависимость полиномом второй степени, выражаем неизвестное нам $Q_{\text{дн}}$ через $Q_{\text{вн}}$, которое измеряется в процессе диагностирования

$$Q_{\text{дн}} = -4,7 \cdot 10^{-6} Q_{\text{вн}}^2 + 0,1267 Q_{\text{вн}} + 583, \quad (\text{см}^3/\text{мин}). \quad (24)$$

Тогда техническое состояние насоса определяется по формуле

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{н}}}{n_{\text{н}} q_0} = 1 - \frac{Q_{\text{вн}} - 4,7 \cdot 10^{-6} \cdot Q_{\text{вн}}^2 + 0,1267 Q_{\text{вн}} + 583}{n_{\text{н}} q_0}. \quad (25)$$

Равенство (25) выполняется с погрешностью менее 0,5 % (рис. 2), что лежит в пределах погрешности средств измерений, применяемых при диагностировании.

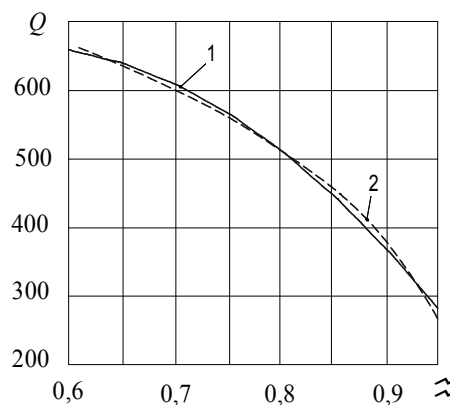


Рис. 2. Действительные значения корректирующего параметра (1) и аппроксимация его значения полиномом второй степени (2)

Выводы

1. Система диагностических параметров, включающая в себя определяющий параметр (реакцию вытекающей через сопло струи рабочей жидкости) и воспроизводимые параметры (давление и температуру рабочей жидкости, постоянное сечение дросселя) обеспечивает уменьшение необходимой мощности привода стенда более чем на порядок, а также массы стенда, количества рабочей жидкости, необходимой для его работы, стоимости стенда при сохранении информативности диагностирования. При этом погрешность диагностирования насосов, имеющих эксплуатационный износ, составляет порядка 3–9%, что обеспечивает достаточную точность прогнозирования их остаточного ресурса.

2. Полученные аналитические зависимости между диагностическими параметрами и параметрами, определяющими износ гидроагрегата, позволили установить закономерности изменений при эксплуатации насоса:

– определяющего диагностического параметра;

– погрешности диагностирования насоса и вкладов в эту погрешность отдельных диагностических параметров для случая известных и неопределённых значений зазоров.

Результаты исследования закономерностей формирования погрешностей диагностирования и их составляющих могут послужить исходными данными для установления, по критерию стоимости, рационального комплекта средств измерений.

3. Установленная количественная связь между стандартной и разработанной системами диагностических параметров позволяет использовать уже существующие нормативы по техническому состоянию гидроагрегатов для диагностирования «по реакции струи рабочей жидкости».

Литература

1. Александровская Л.Н. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем / Л.Н. Александровская, А.П. Афанасьев, А.А. Лисов. – М.: Логос, 2001. – 206 с.
2. Алексеева Т.В. 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.
3. Сергеев А.Г. Точность и достоверность диагностики автомобиля / А.Г. Сергеев – М.: Транспорт, 1980. – 191 с.
4. Анилович В.Я. Надёжность машин в задачах и примерах / В.Я. Анилович, А.С. Гринченко, В.Л. Литвиненко. – Х.: Око, 2001. – 320 с.
5. Пимонов И. Г. Обеспечение точности бортового диагностирования гидроприводов строительных машин / И. Г. Пимонов // Автомобильный транспорт. Серия «Совершенствование машин для земляных и дорожных работ»: сб. науч. тр. – Х.: РИО ХНАДУ. – 2003. – Вып. 6. – С. 91 – 93.
6. Пимонов Г.Г. Повышение эффективности строительных машин диагностированием их гидроагрегатов при техническом обслуживании и ремонте / Г.Г. Пимонов, Л.Г. Романенко // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. «Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. Серия: «Подъёмно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование»: сб. науч. тр. – Днепропетровск: ПГАСА. – 2005. – № 33. – С. 208–212.
7. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика: справочное пособие / Т.М. Башта. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.
8. Пимонов И.Г. Повышение эффективности диагностирования гидроприводов строительных машин / И.Г. Пимонов, Р.А. Фомин // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБА ХОТВ АБУ. – 2009. – Вип. 52. – С. 361–365.
9. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерения и оценивание их погрешностей. МИ 2083-90. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991.
10. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1985. – 248 с.

Рецензент: Л.А. Тимофеева, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 18 мая 2012 г.