

УДК 69.002.51:621.225.2

Об этапах технического диагностирования

Д.Ю. Кобзов^а, В.В. Жмуров^б, И.О. Кобзова^с, В.И. Липецкий^д, А.А. Трофимов^е

Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

^аkobzov7159@mail.ru, ^бwzhmurov@mail.ru, ^сkobzova.inna@mail.ru, ^дLipetski@yandex.ru, ^еtrofimov@brstu.ru

Статья поступила 13.09.2014, принята 16.11.2014

Эффективность использования любой строительной машины определяется ее надежностью, наиболее важным показателем которой является отсутствие отказов работы оборудования. Отказ объекта возникает внезапно, но накопление причин в процессе эксплуатации происходит постепенно и носит кумулятивный характер. Техническое диагностирование позволяет устанавливать состояние объекта в конкретный момент времени, прогнозировать предполагаемые отказы с учетом физической сущности причин их возникновения, качественного изменения, количественного накопления и форм проявления, а также устранять причины отказов в процессе технического обслуживания. Таким образом, основной целью технического диагностирования является поддержание эксплуатационной надежности технического объекта для обеспечения максимальной эффективности его использования в процессе эксплуатации. Техническое диагностирование включает в себя три этапа: на первом изучается тенденция изменения технического состояния объекта в процессе его эксплуатации (техническая генетика, или ретроспекция), на втором этапе оценивается состояние объекта в данный момент времени с определенной точностью в условиях ограниченного объема информации (собственно диагностирование), на третьем этапе определяется тенденция к изменению технического состояния объекта в будущем (прогностика). Техническое диагностирование неразрывно связано с общей теорией надежности.

Ключевые слова: гидроцилиндр, диагностика, диагностирование, диагностический параметр.

Stages of technical diagnosing

D.Yu. Kobzov^а, V.V. Zhmurov^б, I.O. Kobzova^с, V.I. Lipetsky^д, A.A. Trofimov^е

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^аkobzov7159@mail.ru, ^бwzhmurov@mail.ru, ^сkobzova.inna@mail.ru, ^дLipetski@yandex.ru, ^еtrofimov@brstu.ru

Received 13.09.2014, accepted 16.11.2014

The effectiveness of the use of any construction machine is determined by its reliability. The most important indicator of it is the absence of equipment failures. Object failure occurs suddenly but the accumulation of causes occurs gradually in operation and is cumulative. Technical diagnostics allows seeing the object state at particular time, predicting the failures expected with the physical nature of their causes, qualitative change, quantitative accumulation and forms of expression taken into account, as well as removing the causes of failures in the maintenance process. Thus, the main goal of technical diagnostics is to maintain the operational reliability of the technical object to maximize the efficiency of its use during the operation. Technical diagnostics includes three stages. The first one is studied the trend of the object technical state during its operation (technical genetics, or retrospective). The second stage is to assess the object state at any time given with certain accuracy in the limited information amount (proper diagnosing). The third stage is to determine the tendency to change the object technical state in future (prognostics). Technical diagnosing is closely connected with the general theory of reliability.

Key words: hydraulic cylinder, diagnostics, diagnosing, diagnostic parameter.

Введение. Известно, что техническое диагностирование состоит из трех этапов [1, 2]: технической генетики, или ретроспекции, собственно диагностирования и прогностики.

Первый этап включает в себя анализ информации о надежности объекта диагностирования, анализ факторов, оказывающих влияние на процесс изменения его технического состояния, определение совокупности параметров состояния объекта, установление закономерностей их изменения и разработку математической модели процесса эволюции состояния объекта во времени.

Второй этап содержит обоснование допускаемых и предельных значений параметров состояния объекта,

оценку их технических возможностей, выбор и разработку методов и средств диагностирования, проведение диагностирования, анализ его результатов и установление действительного технического состояния объекта в текущий момент времени. Структура этого этапа характеризуется двумя взаимопроникающими и взаимосвязанными направлениями: теорией контролеспособности и теорией распознавания [1]. Первая теория имеет целью получение диагностической информации о техническом состоянии объекта и подразумевает выбор и разработку методов и средств для ее осуществления.

Вторая теория имеет целью распознавание разновидности технического состояния объекта диагностирования в условиях ограниченного объема полученной

информации. Наибольшее распространение при диагностировании получили два подхода к задаче распознавания: вероятностный и детерминистский. Эти подходы не имеют принципиальных различий. Более общими являются вероятностные, но они, как правило, требуют и значительно большего объема предварительной информации. Детерминистские подходы более кратко описывают существенные стороны процесса распознавания, меньше зависят от избыточности, малочленной информации, больше соответствуют логике мышления человека. Эта теория подразумевает построение алгоритмов распознавания, выработку решающих правил и создание диагностических моделей, а также разработку средств их материального отображения. Таким образом, основным содержанием второго этапа диагностирования являются получение и обработка информации от объекта диагностирования с целью определения его состояния в данный момент [3].

Третий этап имеет целью установление остаточного ресурса отдельных элементов и объекта в целом, разработку оптимальной периодичности его диагностирования, технического обслуживания и ремонта [1].

Анализ технического состояния объекта. При реализации первого этапа следует помнить, что объектами диагностирования могут быть любые технические объекты, если они могут находиться по крайней мере в двух взаимоисключающих и различных состояниях, и в них можно выделить структурные (конструктивные) элементы, каждый из которых также может находиться в различных и различных состояниях [2, 4 – 6]. Например (рис. 1), диагноз D_i — «годен»; D_j — «не годен»; заштрихованная зона — область сомнительных решений с возможностью возникновения ошибки I-го рода — «ложная тревога» или II-го рода — «пропуск цели» [2; 5].

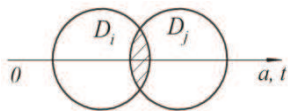


Рис. 1. Модель состояния объекта диагностирования по параметру состояния a во времени t

Каждое различимое состояние обязательно характеризуется комплексом видов технического состояния, описываемых совокупностью свойственных им параметров и определяющих соответствие или несоответствие качества объекта диагностирования установленным техническим требованиям [6, 7].

В соответствии с ГОСТами 17525–72, 20911–75 и 25044–81 видами технического состояния объекта или любого из его элементов являются исправность и неисправность, работоспособность и неработоспособность, правильное функционирование и неправильное.

Исправность объекта характеризуется структурными параметрами, работоспособность — функциональными, а правильность функционирования — технико-экономическими [8]. Кроме структурных, технико-экономических и функциональных параметров в качестве параметров состояний используются и параметры сопутствующих процессов [4, 9].

В процессе эксплуатации, под воздействием на объ-

ект диагностирования внешних факторов и вследствие взаимодействия элементов внутри объекта, происходит изменение значений его структурных параметров от заданных до предельных, результатом чего является аналогичное изменение величин его функциональных и технико-экономических параметров, а также параметров сопутствующих процессов, неизменно сопровождающееся переходом объекта из одного комплекса видов технического состояния в другой, то есть из одной разновидности технического состояния в другую. Эволюция видов технического состояния объектов происходит в пределах от исправного (+И) до неисправного (–И), от работоспособного (+Р) до неработоспособного (–Р), от состояния правильного функционирования (+Ф) до состояния, характеризующегося неправильным функционированием (–Ф) (рис. 2).

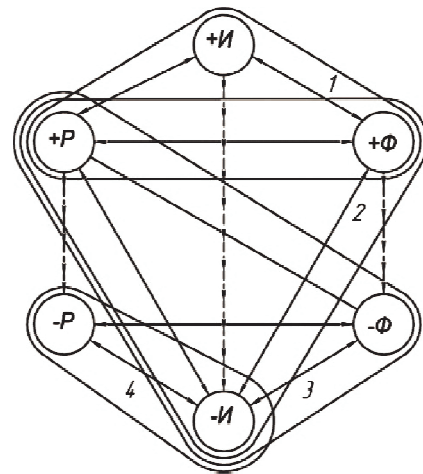


Рис. 2. Схема эволюции видов технического состояния объекта в процессе эксплуатации: \rightarrow — направление эволюции вида; $—$ — граница конкретной разновидности технического состояния объекта; \leftrightarrow — взаимосвязь видов внутри разновидности

Следует помнить, что: исправный объект всегда работоспособен; работоспособный объект может быть как исправным, так и неисправным; неисправный объект может быть как работоспособным, так и неработоспособным или отказавшим; отказавший объект всегда неисправен; неисправный, но работоспособный объект может характеризоваться как правильным функционированием, так и неправильным; исправный, работоспособный объект всегда характеризуется только правильным функционированием [8, 10].

Отсюда следует [8], что эволюция технического состояния любого объекта в процессе его эксплуатации, в общем случае, происходит (рис. 2) от комплекса 1 видов технического состояния, характеризующегося исправностью, работоспособностью, правильностью функционирования (+И+Р+Ф), через разновидности 2 (–И+Р–Ф) и 3 (–И+Р–Ф) до комплекса четырех видов состояния, характеризующегося неисправностью и неработоспособностью (–И–Р).

В частном случае, наличие в эволюции объекта каждого этапа развития технического состояния не обязательно, а наступление последнего нежелательно.

Интенсивность смены этапов эволюции, имеющая значение при разработке алгоритма и решающих правил прогностики, по всей видимости, возрастает с те-

чением времени его эксплуатации, по мере накопления элементами объекта повреждений, то есть вследствие продолжающегося качественного и количественного изменения его структурных параметров и, очевидно, главным образом определяется постоянным ухудшением условий взаимодействия элементов внутри объекта и обострением влияния на это взаимодействие внешних факторов.

Таким образом [8], в процессе диагностирования технического объекта, побывавшего в эксплуатации, что очевидно, и, следовательно, характеризующегося определенным сроком наработки, можно с полной уверенностью констатировать, что его техническое состояние уже ни в коей мере не должно соответствовать комплексу видов (+И+Р+Ф) (рис. 2), что значительно упрощает задачу дальнейшего распознавания. А так как потеря работоспособности (-И-Р) такого технического объекта, как, например, агрегат гидропривода, может быть без особого труда установлена оператором экскаватора в процессе эксплуатации и устранена только посредством ремонтных воздействий, то задача определения технического состояния объекта вообще сводится к распознаванию оставшихся двух разновидностей: (-И+Р+Ф) и (-И+Р-Ф). Точное установление последней наиболее важно, так как этот комплекс видов состояния предшествует области отказов (-И-Р).

Смена комплексов в процессе эксплуатации технического объекта проявляется в появлении или количественном изменении диагностических признаков (симптомов) [11].

Метод диагностирования технического состояния объекта. Основу второго этапа составляет метод диагностирования, под которым подразумевается [1, 2, 3, 8, 10] совокупность методов получения, обработки и преобразования диагностической информации, а также отображения результатов диагностирования. По анало-

гии с этим, под средством диагностирования подразумевается весь комплекс используемых средств получения, обработки, преобразования и отображения информации [2, 3, 6, 8, 9]. При этом метод получения диагностической информации предполагает измерение комплекса диагностических параметров или контролируемых ими составляющих. Метод обработки имеет целью получение действительной оценки результатов измерения. Метод преобразования диагностической информации предполагает выработку диагноза, и, наконец, метод отображения имеет целью иллюстративное представление последнего [8].

Наименее сложным, логически понятным и доступным для реализации на практике в широком спектре условий эксплуатации каких-либо объектов и, следовательно, наиболее распространенным методом диагностирования справедливо полагается метод непревышения [4], решающим правилом которого по отношению к текущему значению параметра состояния a_i есть двойное условие:

$$a_i \leq [a] = \frac{a_{\text{пр}}}{k_s}, \quad (1)$$

в котором: $a_{\text{пр}}$ и $[a]$ — соответственно предельное и допускаемое значения параметра состояния a , а k_s — статистический коэффициент запаса [4], описываемый, в частности, в работах [8, 12–14] применительно к гидроцилиндрам дорожных и строительных машин.

Из условия (1) понятно, что параметр состояния a_i , который полагается диагностическим, увеличивается по мере деградации технического состояния объекта, и диагностирование осуществляется с использованием метода непревышения по верхней его границе. Графически последнее, с учетом положений работы [20], иллюстрируется следующим образом (рис. 3).

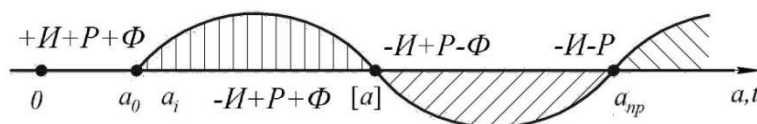


Рис. 3. Схема изменения технического состояния объекта диагностирования по параметру a_i ; a_0 — начальное значение текущего параметра состояния a_i ; $\{[a]-a_0\}$ — область гарантированной надежности объекта; $\{a_{\text{пр}}-[a]\}$ — область условных (параметрических) отказов; $\{a_{\text{пр}}-a_0\}$ — полный ресурс объекта; $\{>a_{\text{пр}}\}$ — область полных (явных) отказов

Понятно, что данная модель описания изменения состояния объекта основана на контроле параметров состояния, ограниченных верхним пределом своего изменения, например, каких-либо характеристик напряженно-деформированного состояния несущих элементов технических объектов [13, 15].

Применительно к гидроприводу этими параметрами справедливо назначаются утечки (внутренние перетечки) жидкости, характеризующие герметизирующую способность гидроагрегатов, гидроарматуры и привода в целом [13, 14]. Причем, эксплуатационное изменение расположения элементов сопряжения, в частности [18], или деформация некоторых [14, 17], либо изменение прочих характеристик уплотняемой поверхности [17, 19, 20] увеличивают, по отдельности или в комплексе,

последние, снижая объемный коэффициент полезного действия [10, 16, 17]. Другими словами, утечки (перетечки), являясь в данном случае контролируемой составляющей вышеназванного диагностического параметра, количественно увеличиваясь, его снижают. Тогда решающее правило метода непревышения, в данном случае, принимает вид:

$$b_{\text{пр}} k_s = [b] \leq b_i \quad (2)$$

и составляет основу алгоритма распознавания состояния объектов, чье техническое состояние базируется на описании и количественной оценке таких диагностических признаков (симптомов состояния), как, например, уменьшение подачи насоса, снижение момента на валу, уменьшение линейной или угловой скорости и многих

других, в частности [8 – 11, 15, 21]. В этом случае диагностирование осуществляется с использованием метода непревышения по нижней границе диагностического параметра b_i .

Другими словами, метод непревышения [4] в общем случае основан на непревышении параметром состояния объекта своего верхнего предела и на непреодолении нижнего.

Достоверность диагноза во многом определяется правильностью выбора диагностического параметра.

Понятно [8], каждой разновидности технического состояния может быть противопоставлен только один определенный комплекс параметров. Если комплекс параметров, характеризующих техническое состояние объекта, используется для конкретизации разновидности его технического состояния, то такие параметры называются диагностическими. В качестве диагностических параметров могут использоваться как структурные, функциональные и технико-экономические параметры, так и параметры процессов, сопутствующих изменению технического состояния. Выбору диагностических параметров уделяется большое внимание.

Параметры диагностирования объекта. Диагностические параметры разделяют на общие и частные; интегральные и простые; зависимые и независимые; комплексные и единичные; статические и динамические; прямые и косвенные; дискретно и непрерывно меняющиеся и измеряемые, а также на производные, линейные и нелинейные [2, 8, 16, 22, 23].

При выборе диагностических параметров к ним предъявляются требования однозначности, стабильности, чувствительности, информативности, незатухаемости, доступности, удобства измерения, технологичности и т. д. [2, 8, 16, 22, 23, 25].

Выбор диагностических параметров производят разными способами [3, 5, 7, 8].

В качестве общих диагностических параметров чаще всего используют параметры технического состояния объекта в целом, допустимые и предельные значения которых, как правило, регламентированы технической документацией на данный объект [24]. При выборе частных диагностических параметров используют один из методов анализа логического описания объекта диагностирования. Наиболее простым логическим описанием является модель (схема, граф) причинно- и структурно-следственных связей. Такая модель создается на основе анализа структурной схемы или аналитического описания объекта диагностирования и его функционирования с учетом количественных показателей надежности и закономерности деградации. Использование модели, хотя и не дает правил выбора диагностических параметров, но делает исходную информацию наглядной и поэтому существенно облегчает процесс их выбора [8, 16]. Модель объекта диагностирования может быть также представлена в аналитическом виде с помощью уравнений связи между прямыми и косвенными диагностическими параметрами или в виде диагностических матриц [4, 6, 16, 24]. Для выбора диагностических параметров сложных объектов, кроме моделей причинно- и структурно-следственных связей,

аналитических моделей и матриц, необходимы функциональные модели [4, 23].

При этом в любом случае стремятся к тому, чтобы выбранный комплекс диагностических параметров был минимален по объему, но охватывал максимальное количество структурных параметров с возможностью локализации каждого в отдельности [8].

По способу получения диагностической информации техническое диагностирование подразделяют на субъективное и объективное [25]. При субъективном диагностировании определение разновидности технического состояния производится на основании имеющегося опыта и знаний. При объективном, подразумеваемом обязательное использование аппаратных средств и методов получения информации, — большое значение имеет приспособленность объекта к диагностированию.

По степени приспособленности все объекты можно разбить на три группы: приспособленные к диагностированию, частично приспособленные и неприспособленные [9, 15]. К группе объектов, приспособленных к диагностированию, относятся объекты, оснащенные средствами для получения и обработки диагностической информации. Во втором случае диагностирование производится при проведении технического обслуживания объекта подключением автономного комплекса диагностических средств. В последнем случае необходимо вмешательство в рабочий процесс, или требуется частичная разборка технического объекта.

В зависимости от входного воздействия на объект со стороны средства диагностирования, различают функциональное и тестовое техническое диагностирование [9, 15].

В любом случае, техническое диагностирование должно удовлетворять трем основным требованиям: повторяемости (воспроизведение произвольное число раз); однозначности (при повторении процесса должны получаться сопоставимые результаты); объективности (вывод о состоянии объекта не должен зависеть от субъективных особенностей диагноста и других внешних условий) [9, 15].

Эффективность технического диагностирования оценивается по его влиянию на эффективность использования объекта диагностирования, по величине вероятности правильной оценки его технического состояния и по снижению капитальных вложений при внедрении новых диагностических средств [26].

Прогнозирование технического состояния объекта. Основной целью третьего этапа, а именно прогнозирования изменения технического состояния элементов машин в процессе эксплуатации, является определение ориентировочного значения остаточного ресурса Δt изделия до предельного состояния, то есть предсказание момента возникновения отказа.

В зависимости от характера исходных данных, различают два метода прогнозирования — по частной реализации изменения диагностического параметра и по статистическим данным (статистическое прогнозирование) [2].

Первый метод используют при прогнозировании

технического состояния машины на основании закономерности изменения одного из диагностических параметров, полученной в результате его измерения во время испытаний или в процессе эксплуатации [2].

В качестве исходных данных для статистического прогнозирования используют информацию об изменении показателей надежности изделия в эксплуатации: вероятность безотказной работы, наработка на отказ, ресурс и технико-экономические показатели: затраты на предупредительное техническое обслуживание и ремонт, затраты на устранение отказов и неисправностей в эксплуатации, суммарные удельные эксплуатационные затраты [2].

По результатам статистического прогнозирования делают общее заключение о техническом состоянии изделия на прогнозируемый период, планируют управляющие технические воздействия.

Наибольшее распространение в настоящее время получили методы прогнозирования, основанные на экстраполяции значений параметра состояния a_i исследования объекта [2].

Необходимым условием для достижения поставленной цели является наличие диагностических параметров, отвечающих установленным требованиям, информации о характере изменения этих параметров в процессе работы, и вида закономерностей, описывающих изменение параметров во времени.

Процедура экстраполяции в математике понимается следующим образом. Если известно значение функции $a = f(t)$ в точках $t_0 < t_i$, лежащих внутри интервала $[t_0; t_i]$, то процедура установления значения функции $a = f(t)$ в точках $t_j \dots t_{np}$, лежащих вне интервала $[t_0; t_i]$, называют экстраполяцией.

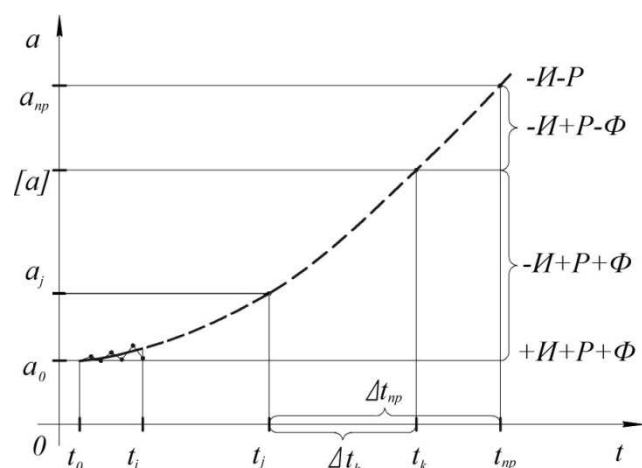


Рис. 4. Схема прогнозирования изменения параметра состояния объекта a_i во времени методом экстраполяции

Процедура прогнозирования в данном случае предполагает следующие действия (рис. 4):

- анализ исходных данных и построение эмпирического графика, иллюстрирующего изменение прогнозируемого параметра a_i во времени t в интервале $[t_0; t_i]$;
- создание математической модели путем определения, желательно, простейшей, например из работы [27], аналитической функции, описывающей закономерность

изменения прогнозируемого параметра a_i во времени t_i ;

- экстраполяция полученного аналитического выражения и прогнозирования изменения диагностического параметра a_i на заданный интервал $[t_i; t_{np}]$;

- установление в процессе диагностирования в текущий j -ый момент времени текущего значения a_j параметра состояния и определение остаточного ресурса Δt_k или Δt_{np} в зависимости от поставленной задачи [2].

Выводы

Не сложно видеть, что процедура прогнозирования объединяет все три этапа технического диагностирования, а именно: первые три действия реализуют процесс технической генетики, а последний одновременно — собственно диагностирования и прогностики.

Понятно, что методологическая наполняемость каждого из названных этапов способствует повышению качества диагноза, его достоверности.

Литература

1. Биргер И.А. Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. 239 с.
2. Шейнин А.М. Эксплуатация дорожных машин. М.: Машиностроение, 1980. 336 с.
3. Калявин В.П., Мозгалевский А.В. Технические средства диагностирования. Л.: Судостроение, 1984. 208 с.
4. Сырицын Т.А. Надёжность гидро- и пневмопривода. М.: Машиностроение, 1981. 216 с.
5. Верзаков Г.Ф. Введение в техническую диагностику. М.: Энергия, 1968. 224 с.
6. Мирошников Л.В. Теоретические основы технической диагностики автомобиля. М.: Высшая школа, 1976. 127 с.
7. Мирошников Л.В., Болдин А.П., Пал В.И. Диагностирование технического состояния автомобиля на автотранспортных предприятиях. М.: Транспорт, 1977. 263 с.
8. Кобзов Д.Ю. Диагностирование гидроцилиндров рабочего оборудования одноковшовых строительных экскаваторов: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1987. 345 с.
9. Харазов А.М. Техническая диагностика гидроприводов машин. М.: Машиностроение, 1979. 112 с.
10. Васильченко В.А. Техническая диагностика гидравлического оборудования строительных, дорожных и коммунальных машин. М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1979. 47 с.
11. Говорущенко Н.Я. Диагностика технического состояния автомобилей. М.: Транспорт, 1980. 254 с.
12. Кобзов Д.Ю., Усова С.В. Экспресс-диагностика несущей способности гидроцилиндров машин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. № 3 (23). С. 174-179.
13. Кобзов Д.Ю., Лапшин В.Л., Тарасов В.А., Жмуров В.В. Гидроцилиндры дорожных и строительных машин. Ч. 3. Несущая способность. Братск, 2011. 88 с. Рус. Деп. в ВИНТИ РАН 27.01.2011. № 27-B2011.
14. Сергеев А.П., Кобзов Д.Ю., Лханаг Д. Гидроцилиндры дорожных и строительных машин. Ч. 4. Герметизирующая способность. Братск, 2003. 44 с. Рус. Деп. в ВИНТИ 14.07.2003, № 1376-B2003.
15. Кобзов Д.Ю., Ереско С.П., Трофимов А.А., Кулаков А.Ю., Жмуров В.В. Гидроцилиндры дорожных и строительных машин. Ч. 5. Техническое диагностирование. Братск, 2011. 119 с. Рус. Деп. в ВИНТИ РАН 21.07.2011, № 360-B2011.
16. Ереско С.П. Исследование влияния нагрузочного режима одноковшовых экскаваторов на надёжность гидроци-

лидиров рабочего оборудования и их уплотнительных устройств: дис. ... канд. тех. наук. Л., 1981. 260 с.

17. Сергеев А.П. Диагностирование гидроцилиндров рабочего оборудования одноковшовых строительных экскаваторов по параметрам герметичности: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1989. 351 с.

18. Лозовский В.М. Надёжность гидравлических агрегатов. М.: Машиностроение, 1974. 319 с.

19. Кондаков Л.А., Никитин Г.А., Прокофьев В.Н. Машиностроительный гидропривод / под ред. В.Н. Прокофьева. М.: Машиностроение, 1978. 495 с.

20. Кондаков Л.А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем. М.: Машиностроение, 1982. 216 с.

21. Ждановский Н.С. Диагностика автотракторных двигателей. Л.: Колос, 1977. 264 с.

22. Кобзов Д.Ю., Усова С.В. Экспресс-диагностика несущей способности гидроцилиндров машин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. № 3 (23). С. 174-179.

23. Макаров Р.А., Соколов А.В. Диагностика строительных машин. М.: Стройиздат, 1984. 335 с.

24. Кобзов Д.Ю., Ереско С.П., Жмуров В.В. Гидроцилиндры дорожных и строительных машин. Ч. 6. Работоспособность. Надёжность. Варианты модернизации. Братск, 2012. 43 с. Рус. Деп. в ВИНТИ РАН, 27.04.2012, № 198-B2012.

25. Аринин И.Н. Диагностирование технического состояния автомобилей. М.: Транспорт, 1978. 176 с.

26. Надёжность и эффективность в технике: справочник: в 10 т. / гл. ред. В.С. Авдеевский. М.: Машиностроение, 1986. Т.1: Метрология. Организация. Терминология. 224 с.

27. Рыбасенко В.Д., Рыбасенко И.Д. Элементарные функции: Формулы, таблицы, графики. М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1987. 416 с.

References

1. Birger I.A. Technical diagnostics. M.: Mashinostroenie, 1978. 239 p.

2. Sheinin A.M. Operation of road machines. M.: Mashinostroenie, 1980. 336 p.

3. Kalyavin V.P., Mozgalevskii A.V. Technical means of diagnosing. L.: Sudostroenie, 1984. 208 p.

4. Syritsyn T.A. Hydraulic and pneumatic reliability. M.: Mashinostroenie, 1981. 216 p.

5. Verzakov G.F. Introduction to technical diagnostics. M.: Energiya, 1968. 224 p.

6. Miroshnikov L.V. Theoretical bases of technical diagnostics car. M.: Vysshaya shkola, 1976. 127 p.

7. Miroshnikov L.V., Boldin A.P., Pal V.I. Diagnosis of technical condition of the car on the road enterprises. M.: Transport, 1977. 263 p.

8. Kobzov D.Yu. Diagnosing hydrocylinders working equipment of single bucket excavators: dis. ... kand. tekhn. nauk. L., 1987. 345 s.

9. Kharazov A.M. Technical diagnostics hydraulic drive of

machines. M.: Mashinostroenie, 1979. 112 p.

10. Vasilchenko V.A. Technical diagnostics of hydraulic equipment building, road and utility vehicles. M.: TsNIITestroi-mash, 1979. 47 p.

11. Govorushchenko N.Ya. Diagnostics of technical condition of cars. M.: Transport, 1980. 254 p.

12. Kobzov D.Yu., Usova S.V. Express diagnostics of the bearing capacity of hydrocylinders machines // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie. 2009. № 3 (23). P. 174-179.

13. Kobzov D.Yu., Lapshin V.L., Tarasov V.A., Zhmurov V.V. Hydrocylinders of road and building machinery. Ch. 3. The bearing capacity. Bratsk, 2011. 88 p. Rus. Dep. v VINITI RAN 27.01.2011, № 27-V2011.

14. Sergeev A.P., Kobzov D.Yu., Lkhanag D. Hydrocylinders of road and building machinery. Ch. 4. The sealing ability. Bratsk, 2003. 44 p. Rus. Dep. v VINITI 14.07.2003, № 1376-V2003.

15. Kobzov D.Yu., Eresko S.P., Trofimov A.A., Kulakov A.Yu., Zhmurov V.V. Hydrocylinders of road and building machinery. Ch. 5. Technical diagnostics. Bratsk, 2011. 119 p. Rus. Dep. v VINITI RAN 21.07.2011, № 360-V2011.

16. Eresko S.P. Investigation of the effect of the load regime of single bucket excavators on the reliability of hydraulic cylinders working equipment and sealing devices: dis. ... kand. tekhn. nauk. L.: 1981. 260 p.

17. Sergeev A.P. Diagnosing hydrocylinders working equipment of single bucket building excavators on parameters tightness: dis. ... kand. tekhn. nauk. L., 1989. 351 p.

18. Lozovskii V.M. Reliability of hydraulic power units. M.: Mashinostroenie, 1974. 319 p.

19. Kondakov L.A., Nikitin G.A., Prokofev V.N. Machine building hydraulic / pod red. V.N. Prokofeva. M.: Mashinostroenie, 1978. 495 p.

20. Kondakov L.A. Working fluids and seals of hydraulic systems. M.: Mashinostroenie, 1982. 216 p.

21. Zhdanovskii N.S. Diagnosis autotractor engines. L.: Kolos, 1977. 264 p.

22. Kobzov D.Yu., Usova S.V. Express diagnostics of the bearing capacity of hydrocylinders machines // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie. 2009. № 3 (23). P. 174-179.

23. Makarov R.A., Sokolov A.V. Diagnosis of of building machines. M.: Stroizdat, 1984. 335 p.

24. Kobzov D.Yu., Eresko S.P., Zhmurov V.V. Hydrocylinders of road and building machinery Ch. 6. Operability. Reliability. Upgrade options. Bratsk, 2012. 43 p. Rus. Dep. v VINITI RAN, 27.04.2012, № 198-V2012.

25. Arinin I.N. Diagnosing of technical condition of cars. M.: Transport, 1978. 176 p.

26. Reliability and efficiency in engineering: v 10 t. / gl. red. V.S. Avdееvskii. M.: Mashinostroenie, 1986. Т.1: Метрология. Organizatsiya. Terminologiya. 224 p.

27. Rybasenko V.D., Rybasenko I.D. Elementary functions: formulas, tables, graphs. M.: Nauka. Gl. red. Fiz.-mat. lit., 1987. 416 p.