

**ПРЕВЕНТИВНАЯ СТРАТЕГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
ДРОБИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ****Гималтдинов И.Х., Зиганшин Б.Г., Галиев И. Г., Дмитриев А.В.,
Мухаметшин А.А., Гриценко А.В.**

Реферат. Исследования проводили с целью разработки математической модели и диагностического комплекса для определения остаточного ресурса подшипников ротора молотковых дробилок. Информация об остаточном ресурсе необходима для превентивного технического обслуживания и предотвращения аварийных остановок оборудования. Для достижения поставленной цели в Казанском ГАУ (Республика Татарстан) осуществляли тарировочные исследования зависимости диагностических параметров вибрации от величины радиальных зазоров подшипников. На ротор молотковой дробилки КД-2, со стороны приводного шкива и со стороны вентилятора, поочередно устанавливали подшипники 3610 с различными радиальными зазорами (0,02 мм, 0,08 мм, 0,13 мм, 0,2 мм, 0,27 мм) и фиксировали параметры вибрации. Съём информации осуществляли пьезоэлектрическим датчиком. Обработку сигнала выполняли с использованием виброметра ВВМ-201. Результаты математической обработки этих данных представлены в более ранних публикациях. Для определения изменения величины радиального зазора от наработки в часах проведены ретроспективные исследования непосредственно в сельскохозяйственных предприятиях Республики Татарстан: ОАО «Шаймурзинское СХП им. А.Ш. Абдреева» Дрожжановского района, ОАО «Киятское» Буинского района, СХПК «Урал» Кукморского района и др. Средняя наработка подшипников ротора кормодробилки КД-2 молоткового типа до наступления предотказного состояния со стороны привода составила 1900...2000 ч, со стороны вентилятора – 2000...2100 ч. По результатам исследований экспериментально установлены величины радиальных зазоров и параметров вибрации подшипников качения роторов молотковых дробилок, выявлены закономерности изменения радиального зазора подшипников качения ротора молотковых дробилок в зависимости от наработки. Разработанные математические модели определения радиального зазора в подшипниках ротора молотковой дробилки кормов по параметрам вибрации и расчета остаточного ресурса реализованы в диагностическом комплексе, состоящем из серийно выпускаемого виброметра ВВМ-201 и приставки остаточного ресурса.

Ключевые слова: внезапный отказ, подшипник качения, радиальный зазор, вибродиагностика, остаточный ресурс, превентивное техническое обслуживание.

Введение. В сельскохозяйственном производстве довольно широко используют оборудование для измельчения кормов, ведутся работы по улучшению их конструкций [1]. Это объясняется технологической надежностью, простотой конструкции и ремонтпригодностью таких устройств. Однако практика эксплуатации молотковых дробилок показала низкую безотказность подшипников ротора. Интенсивность их отказов в 2...5 раз выше, чем у других механизмов и узлов [2]. Одновременно работы по замене и ремонту подшипников ротора дробилок кормов требуют наличия специализированного инструмента и участие квалифицированного персонала.

Подшипники ротора дробилок кормов подвержены интенсивному износу из-за дисбаланса, ударных нагрузок и других агрессивных условий эксплуатации [3]. В основном оборудование для дробления кормов эксплуатируют до предельного состояния. При этом в случае его внезапного выхода из строя нарушается рацион кормления животных, возникают затраты на незапланированные ремонты, возрастает расход запасных частей при устранении аварии и, как следствие, происходит увеличение себестоимости продукции с соответствующим снижением прибыли.

Сегодня для увеличения объемов производства и качества продукции с одновременным снижением ее себестоимости необходимо осваивать современные технологии [4]. Даль-

нейшее увеличение ресурса и повышение надежности машин и оборудования предполагают переход на превентивную стратегию обслуживания по фактическому техническому состоянию, а это возможно только при наличии эффективных, современных технологий и средств технической диагностики [5, 6, 7, 8]. При эксплуатации машин и оборудования, важное значение имеет своевременное и точное определение технического состояния подвижных сопряжений, а также прогнозирование остаточного ресурса [9, 10, 11]. В этих работах представлена методика определения зависимости величин зазоров в сопряжениях и диагностических параметров.

При проведении диагностики как в России, так и за рубежом широко используют параметры вибрации [12]. От того, насколько часто и глубоко проводится спектральный анализ параметров вибрации, зависит стоимость и сложность диагностического оборудования, сама процедура определения технического состояния и уровень квалификации диагноста. При эксплуатации дробилок кормов достаточно предотвращать внезапные отказы своевременной заменой подшипников ротора.

Цель исследования – установить взаимосвязь радиальных зазоров в подшипниках ротора молотковой дробилки с параметрами вибрации и наработкой.

Условия, материалы и методы исследований. Для анализа влияния радиального

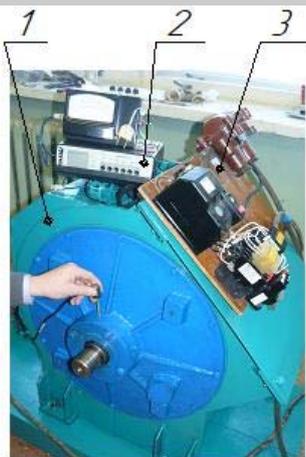


Рисунок 1 – Установка для лабораторных исследований на базе дробилки кормов КД-2: 1 – дробильная камера; 2 – виброметра ВВМ -201; 3 – пульт управления электродвигателем

зазора в подшипниках качения на параметры вибрации была собрана лабораторная установка (рисунок 1), на которой выполняли тарировочные исследования. Для этого на ротор поочередно устанавливали подшипники (z_1 со стороны привода и z_2 со стороны вентилятора) с различной степенью износа и фиксировали параметры вибрации. Съём информации выполняли пьезоэлектрическим датчиком. Обработку сигнала выполняли на виброметре ВВМ -201 (рисунок 2), полученные данные фиксировались в журнале.

При использовании виброметра ВВМ-201 съём информации с диагностируемого объекта осуществляется пьезоэлектрическим акселерометром 20 (см. рисунок 2), который преобразует механические колебания в электрический сигнал, поступающий по кабелю на входной канал виброметра. В виброметре он согласуется, усиливается и измеряется, после чего снимается с выходного канала и в виде электрических импульсов величиной до 3 В переходит на вход приставки для определения остаточного ресурса 8. В приставке сигнал усиливается, анализируется, регистрируется и выводится на стрелочный индикатор, отклоне-

ние которого характеризует показатели остаточного и фактического ресурса. Отклонения стрелочного индикатора 17 зависят и от таких входных параметров, задаваемых оператором с помощью органов управления, как скорость износа и полный ресурс. Они задаются при помощи резисторов 13, 14, 15, 16. Прибор работает в двух режимах: ввод данных и снятие информации. Переключение между ними осуществляется кнопками 9, 10, 11, 12. В случае если подшипник качения имеет износ, при котором дальнейшая эксплуатация запрещается, и возникает риск аварийного выхода из строя подшипникового узла, срабатывает звуковая сигнализация.

С целью определения влияния наработки на изменение технического состояния и величины радиального зазора подшипников ротора дробилки кормов, был выполнен ретроспективный сбор статистических данных в условиях сельскохозяйственных предприятий (рисунок 3).

Сбор статистических данных проводили в хозяйствах Дрожжановского и Буинского районов Республики Татарстан на шести дробилках марки КД-2 с периодичностью 30 дней.

После каждого измерения параметров вибрации выполняли демонтаж подшипника, измеряли радиальный зазор и устанавливали его на свое рабочее место.

Анализ и обсуждение результатов исследований. В ходе лабораторных исследований зависимости параметров вибрации от величин различных радиальных зазоров в подшипниках качения (z_1 со стороны привода и z_2 со стороны вентилятора) было установлено, что увеличение радиального зазора в подшипниках приводит к увеличению уровня вибростороности и носит линейный характер (табл. 1).

Заводом изготовителем установлен предельный радиальный зазор в подшипниках 3610 равный 0,2 мм, при котором дальнейшая его эксплуатация запрещена. Анализ результатов эксплуатационных исследований зависимости радиального зазора подшипников дробилок кормов от наработки на сельскохозяйственных предприятиях Республики Татарстан

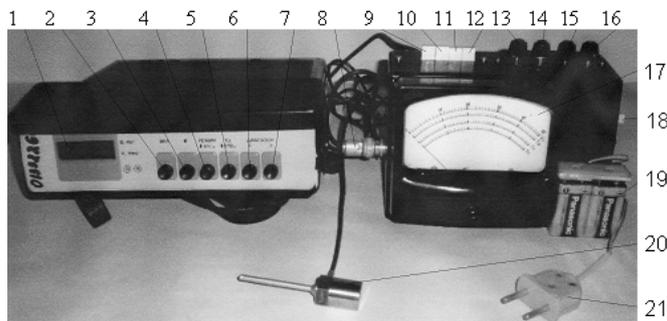


Рисунок 2 – Общий вид и органы управления диагностического комплекса:

1 – индикатор цифровой; 2 – кнопка включения питания; 3 – кнопка контроля питания; 4 – кнопка переключения режимов измерения; 5 – переключатель постоянного времени измерения; 6, 7 – кнопки диапазонов; 8 – входное устройство; 9, 10, 11, 12 – кнопки переключения режимов измерения приставки; 13, 14 – резисторы грубой и точной настройки для задания скорости износа; 15, 16 – резисторы грубой и точной настройки для задания ресурса; 17 – стрелочный индикатор; 18 – кнопка переключения питания (сеть, батарея); 19 – элементы питания; 20 – пьезоэлектрический акселерометр; 21 – вилка подключения сети 220В.



Рисунок 3 – Измерение параметров вибрации в условиях ОАО «Киятское» Буинского района Республики Татарстан

показал, что средняя наработка подшипников ротора дробилки кормов КД-2 молоткового типа до наступления предотказного состояния со стороны привода составляет от 1900...2000 ч, со стороны вентилятора 2000...2100 ч (рисунок 4).

Подшипник со стороны привода дробилки №2 (рисунок 3 а) показал нетипичную для остальных дробилок большую скорость износа, что можно объяснить дефектом изготовления данного подшипника и его данные были исключены при построении кривой регрессии

Предполагая экспоненциальный характер зависимостей радиальных зазоров подшипников от наработки, кривые регрессии были рассчитаны по следующим формулам:

$$z_1 = z_0 + C_1(e^{\beta_1 t} - 1); \quad (1)$$

$$z_2 = z_0 + C_2(e^{\beta_2 t} - 1), \quad (2)$$

где z_0 – радиальный зазор в новом подшипнике, мм (на ротор наиболее распространенных дробилок кормов КД-2, КДУ-2, ДБ-5 устанавливаются подшипники 3610 с номинальным радиальным зазором $z_0 = 0,03$ мм).

Коэффициенты C_1 , C_2 , β_1 и β_2 можно определить с использованием функции сглажива-

ния экспериментальных данных в MATLAB методом наименьших квадратов. После обработки результатов испытаний были получены следующие числовые значения:

$$C_1 = 0,039 \text{ мм}, \beta_1 = 8,84 \cdot 10^{-4} \text{ 1/час},$$

$$C_2 = 0,031 \text{ мм}, \beta_2 = 9,42 \cdot 10^{-4} \text{ 1/час}.$$

Применяя зависимости (1) и (2), на основе информации о величине радиального зазора можно найти фактическое время наработки дробилок кормов по выражениям:

$$T_{1\text{факт}} = \frac{1}{\beta_1} \ln \left(\frac{z_{1\text{факт}} - z_0}{C_1} + 1 \right), \quad (3)$$

где $T_{1\text{факт}}$ – фактический ресурс подшипника ротора молотковой дробилки, установленный со стороны привода;

$$T_{2\text{факт}} = \frac{1}{\beta_2} \ln \left(\frac{z_{2\text{факт}} - z_0}{C_2} + 1 \right), \quad (4)$$

где $T_{2\text{факт}}$ – фактический ресурс подшипника ротора молотковой дробилки, установленный со стороны вентилятора.

Суммарную наработку до достижения предельного радиального зазора конкретного подшипника можно вычислить по формулам:

$$T_{1\text{полн}} = \frac{1}{\beta_1} \ln \left(\frac{z_{кр} - z_0}{C_1} + 1 \right), \quad (5)$$

где $T_{1\text{полн}}$ – полный ресурс подшипника ротора молотковой дробилки, установленный со стороны привода.

$$T_{2\text{полн}} = \frac{1}{\beta_2} \ln \left(\frac{z_{кр} - z_0}{C_2} + 1 \right) \quad (6)$$

где $T_{2\text{полн}}$ – полный ресурс подшипника ротора молотковой дробилки, установленный со стороны привода.

Остаточный ресурс подшипника определяется как разность полного и фактического ресурса:

$$T_{1\text{ост}} = T_{1\text{полн}} - T_{1\text{факт}}, \quad (7)$$

$$T_{2\text{ост}} = T_{2\text{полн}} - T_{2\text{факт}}, \quad (8)$$

Текущие значения радиальных зазоров можно определить исходя из измеренных зна-

Таблица 1 – Измеренные значения параметра виброскорость (V) при различных радиальных зазорах подшипников z_1 и z_2 , мм/с

z_2 , мм	z_1 , мм				
	0,03	0,08	0,13	0,20	0,27
со стороны привода					
0,03	32,03	34,94	37,78	40,70	44,26
0,08	32,74	35,65	38,19	41,50	45,08
0,13	33,46	36,43	39,04	42,32	45,26
0,20	34,54	37,33	40,08	43,31	47,07
0,27	35,34	38,53	40,93	45,45	47,91
со стороны вентилятора					
0,03	15,10	15,66	15,94	16,62	17,4
0,08	16,12	17,77	18,02	18,964	20,00
0,13	16,66	20,40	20,87	21,88	23,07
0,20	24,18	24,25	24,50	25,90	26,68
0,27	27,86	28,16	28,05	29,47	31,09

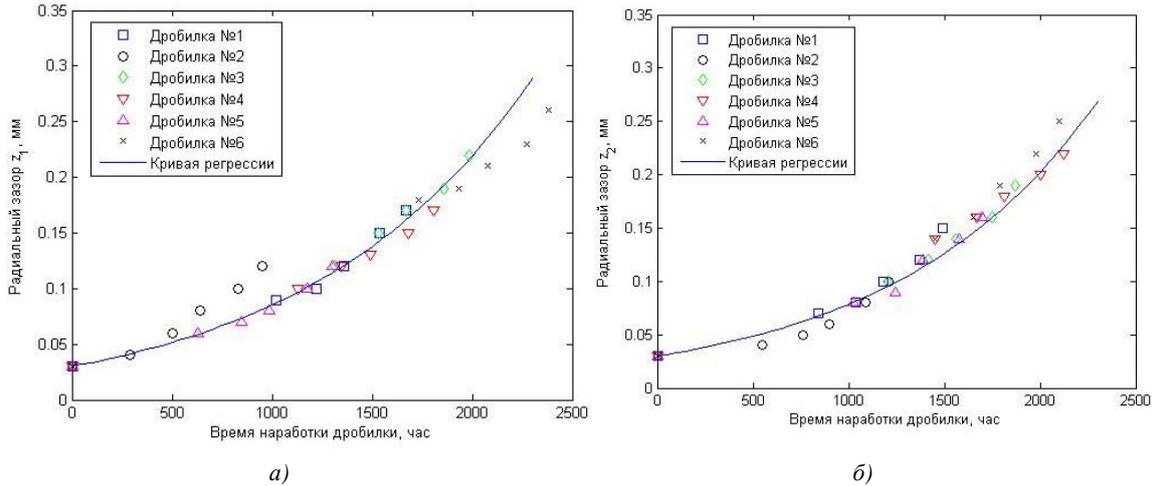


Рисунок 4 – Радиальный зазор в подшипниках дробилок кормов в зависимости от наработки: а) со стороны привода; б) со стороны вентилятора

чений параметров виброскорости по выражениям которые были выведены ранее [3]:

$$z_1 = 0,0216V_1 - 0,0056V_2 - 0,5927 \quad (9)$$

$$z_2 = -0,0056V_1 + 0,0189V_2 - 0,0448, \quad (10)$$

где V_1 и V_2 – параметр виброскорости подшипника со стороны привода и вентилятора, мм/с;

z_1 и z_2 – зазоры подшипников привода и вентилятора, мм.

С использованием формул (8) и (9) были рассчитаны величины, которые отражают связь структурного параметра – радиальный зазор в подшипниках ротора молотковой дробилки с диагностическим параметром – виброскорость (табл. 2). При этом было установлено, что поскольку между вибропараметрами привода и вентилятора существует корреляционная зависимость, возможны не все сочетания их значений. Это проявляется в том, что рассчитанные величины зазоров оказываются

меньше $z_0 = 0,03$ мм.

Для настройки диагностического комплекса необходимо знать величины остаточного и фактического ресурса в зависимости от радиального зазора, которые мы рассчитали (табл. 3) по формулам (3), (4), (7), (8).

Выводы. В результате лабораторных экспериментов и эксплуатационных исследований на предприятиях АПК установлена линейная зависимость параметров вибрации в подшипниковых узлах кормодробилок КД-2 от величины радиального зазора, которая носит экспоненциальный характер. Средняя наработка подшипников ротора кормодробилки КД-2 молоткового типа до наступления предотказного состояния со стороны привода составляет 1900...2000 ч, со стороны вентилятора – 2000...2100 ч. По результатам исследований экспериментально установлены величины радиальных зазоров и параметров вибрации подшипников качения роторов молотковых дробилок, выявлены за-

Таблица 2 – Радиальные зазоры

V_2	V_1								
	32	34	36	38	40	42	44	46	48
15	0,0348*	0,0580	0,1013						
	0,0590	0,0477	0,0365						
17		0,0468	0,0900	0,1333	0,1765	0,2197	0,2630		
		0,0856	0,0743	0,0631	0,0518	0,0406	0,0293		
19		0,0355	0,0788	0,1220	0,1653	0,2085	0,2517	0,2950	0,3382
		0,1234	0,1122	0,1009	0,0897	0,0784	0,0672	0,0559	0,0447
21			0,0675	0,1108	0,1540	0,1972	0,2405	0,2837	0,3270
			0,1500	0,1387	0,1275	0,1162	0,1050	0,0938	0,0825
23			0,0563	0,0995	0,1428	0,1860	0,2292	0,2725	0,3157
			0,1878	0,1766	0,1653	0,1541	0,1428	0,1316	0,1203
25			0,0450	0,0883	0,1315	0,1748	0,2180	0,2612	0,3045
			0,2256	0,2144	0,2031	0,1919	0,1807	0,1694	0,1582
27			0,0338	0,0770	0,1203	0,1635	0,2068	0,2500	0,2932
			0,2635	0,2522	0,2410	0,2297	0,2185	0,2072	0,1960
29				0,0658	0,1090	0,1523	0,1955	0,2387	0,2820
				0,2900	0,2788	0,2676	0,2563	0,2451	0,2338
31				0,0546	0,0978	0,1410	0,1843	0,2275	0,2707
				0,3279	0,3166	0,3054	0,2941	0,2829	0,2717

*верхняя строка внутренних ячеек соответствует z_1 , нижняя – z_2 .

Таблица 3 – Фактический и остаточный ресурс подшипников в зависимости от величины радиального зазора

Показатель	Величина зазора, мм										
	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25
	со стороны привода										
$T_{1факт}, ч$	468	799	1054	1262	1438	1590	1738	1844	1932	2051	2142
$T_{1ост}, ч$	1758	1427	1172	964	788	636	502	382	274	175	84
	со стороны вентилятора										
$T_{2факт}, ч$	529	880	1143	1354	1530	1680	1813	1930	2036	2132	2220
$T_{2ост}, ч$	1773	1422	1158	948	772	621	489	371	266	170	81

кономерности изменения радиального зазора подшипников качения ротора молотковых дробилок в зависимости от наработки. Разработанные математические модели определения радиального зазора в подшипниках ротора молотковой дробилки кормов по параметрам вибрации и расчета остаточного ресурса реализованы в диагностическом комплексе, состоящем из серийно выпускаемого виброметра ВВМ-201 и приставки остаточного ресурса.

Разработанный мобильный диагностический комплекс позволяет определять состоя-

ние и остаточный ресурс подшипников непосредственно на дробилке кормов, без демонтажа и переходить от эксплуатации до предельного состояния или обслуживания по регламенту, требующего частых разборочно-сборочных операций и снижающего надежность, к превентивному техническому обслуживанию, что позволяет предупреждать аварийные остановки, осуществлять предварительное планирование и подготовку ТО и ремонта (заказ ремонтных бригад, материально-технического обеспечения).

Литература

1. Определение рабочей площади торцевых решет дробилки зерна с увеличенной сепарирующей поверхностью / Б. Г. Зиганшин, С. Ю. Булатов, К. Е. Миронов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 2 (58). С. 87-91.
2. Адигамаев Н. Р., Гималтдинов И. Х. Теория и практика определения остаточного ресурса подшипниковых узлов дробилок кормов // Техника и оборудование для села. 2015. № 10. С. 44 - 48.
3. Адигамаев Н. Р., Гималтдинов И. Х. Лабораторно-эксплуатационные испытания установки безразборного диагностирования оборудования животноводческих ферм // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2011. Т. 6. № 2 (20). С. 89-90.
4. Анализ технических решений в оптимизации условий содержания молочного скота при строительстве и реконструкции животноводческих ферм / Б. Г. Зиганшин, Р. Р. Шайдуллин, А. Р. Валиев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. № 2 (49). С. 138-143.
5. Галиев, И.Г. Результаты определения оптимальных значений межремонтных наработок тракторов в аграрном производстве с учетом уровня их эксплуатации / И.Г. Галиев, Р.К. Хусаинов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11. № 2 (40). С. 87-90.
6. Галиев, И.Г. Влияние уровня эксплуатации техники на показатели использования тракторов в аграрном производстве / И.Г. Галиев, Р.К. Хусаинов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015. Т. 10. № 4 (38). С. 38-40.
7. Галиев И. Г., Мухаметшин А. А. Результаты по обоснованию влияния остаточного ресурса на надежность агрегатов и систем трактора // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2010. № 2 (17). С. 66-67.
8. Ensuring possibility of functioning of tractors in agricultural production taking into account residual resources of their units and systems/ I. G. Galiev, K. A. Khafizov, R. C. Khusainov, et al.//19th International Scientific Conference Engineering for rural development Proceedings, Volume 18 May 22-24, 2020 P. 48-53
9. Gritsenko A., Kukov S., Glemba K. Theoretical underpinning of diagnosing the cylinder group during motoring // Procedia Engineering 2. Ser. "2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016". 2016. P. 1182–1187.
10. Виброакустический контроль газораспределительного механизма ДВС / А. В. Гриценко, Н. Машрабов, С. А. Барышников и др. // АПК России. 2019. Т. 26. № 2. С. 203-215.
11. Зябиров И. М., Мачнев В. А., Зябиров А. И. Дистанционный контроль параметров технического состояния рабочих агрегатов зерноуборочных комбайнов / Нива Поволжья. 2016. № 4 (41). С. 75-79.
12. Zakhezin A. M., Malysheva T. V. Vibrational methods of the overhead gas-pipelines technological equipment diagnostics. // Proceedings of 2nd International Symposium on Mechanical Vibration (ISMV-2000), Islamabad, 2000. P. 567-572.

Сведения об авторах:

Гималтдинов Ильдус Хафизович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: tskszgau@mail.ru
 Зиганшин Булат Гусманович – доктор технических наук, профессор, профессор РАН, e-mail: zigan66@mail.ru
 Галиев Ильгиз Гакифович – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации и ремонта машин, e-mail: drGali@mail.ru
 Дмитриев Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: avd-work@mail.ru
 Мухаметшин Альберт Ахатович – кандидат технических наук, директор МУП г. Казани "ПАТП № 2", e-mail: kpatp-2@yandex.ru
 ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», Казань, Россия
 Гриценко Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт», ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (ЮУрГУ НИУ); профессор кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка, и технология и механизация животноводства», ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ЮУрГАУ), e-mail: alexgrits13@mail.ru

PREVENTIVE MAINTENANCE STRATEGY FOR CRUSHING EQUIPMENT

Gimaltdinov I.Kh., Ziganshin B.G., Galiev I.G., Dmitriev A.V., Mukhametshin A.A., Gritsenko A.V.

Abstract. The research was carried out in order to develop a mathematical model and a diagnostic complex to determine the residual life of the rotor bearings of hammer crushers. Residual life information is essential for proactive maintenance and to prevent equipment crashes. To achieve this goal, Kazan State Agrarian University (Republic of Tatarstan) carried out calibration studies of the dependence of the diagnostic parameters of vibration on the value of the radial clearances of the bearings. 3610 bearings with different radial clearances (0.02 mm, 0.08 mm, 0.13 mm, 0.2 mm, 0.27 mm) were alternately installed on the rotor of the KD-2 hammer mill, from the drive pulley side and from the fan side) and recorded the vibration parameters. The information was read using a piezoelectric sensor. Signal processing was performed using a VVM-201 vibrometer. The results of mathematical processing of these data are presented in earlier publications. To determine the change in the value of the radial clearance from the operating time in hours, retrospective studies were carried out directly in the agricultural enterprises of the Republic of Tatarstan: “Shaimurzinskoe agricultural enterprise named after A.Sh. Abdreev” of Drozhzhanovskiy region, JSC “Kiyatskoe” of Buinskiy region, the agricultural production complex “Ural” of Kukmorskiy region, etc. The average operating time of the bearings of the rotor of the hammer-type KD-2 forage grinder before the onset of a pre-failure state on the drive side was 1900 ... 2000 hours, on the fan side - 2000 ... 2100 h. Based on the results of the research, the values of the radial clearances and vibration parameters of the rolling bearings of the rotor of hammer crushers were experimentally established, the regularities of the change in the radial clearance of the rolling bearings of the rotor of hammer crushers were revealed depending on the operating time. The developed mathematical models for determining the radial clearance in the rotor bearings of the hammer crusher by vibration parameters and calculating the residual life are implemented in a diagnostic complex consisting of a commercially available VVM-201 vibrometer and a residual life attachment.

Key words: sudden failure, rolling bearing, radial clearance, vibration diagnostics, residual life, preventive maintenance.

References

1. Determination of the working area of the end screens of the grain crusher with an increased separating surface. [Opredelenie rabochey ploschadi tortsevykh reshet drobilki zerna s uvelichennoy separiruyushey poverkhnostyu]. / B.G. Ziganshin, S.Yu. Bulatov, K.E. Mironov and others. // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2020. Vol. 15. № 2 (58). P. 87-91.
2. Adigamov N.R., Gimaltdinov I.Kh. Theory and practice of determining the residual life of the bearing units of feed crushers. [Teoriya i praktika opredeleniya ostatochnogo resursa podshipnikovykh uzlov drobilok kormov]. // *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. – Technics and equipment for the village*. 2015. № 10. P. 44 - 48.
3. Laboratory-operational tests of the installation of in-place diagnostics of equipment of livestock farms. [Laboratorno-ekspluatatsionnye ispytaniya ustanovki bezrazbornogo diagnostirovaniya oborudovaniya zhivotnovodcheskikh ferm]. // Adigamov N.R., Gimaltdinov I.Kh. // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2011. Vol. 6. № 2 (20). P. 89-90.
4. Analysis of technical solutions in optimizing the conditions for keeping dairy cattle during the construction and reconstruction of livestock farms. [Analiz tekhnicheskikh resheniy v optimizatsii usloviy soderzhaniya molochnogo skota pri stroitelstve i rekonstruktsii zhivotnovodcheskikh ferm]. / B.G. Ziganshin, R.R. Shaydullin, A.R. Valiev and others. // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2018. Vol. 13. № 2 (49). P. 138-143.
5. Galiev, I. G. Results of determining the optimal values of inter-repair workings of tractors in agricultural production, taking into account the level of their operation [Rezultaty opredeleniya optimal'nykh znacheniy mezhremontnykh narabotok traktorov v agrarnom proizvodstve s uchedom urovnya ih ekspluatatsii] / I. G. Galiev, R. K. Khusainov // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2016. Vol. 11. No. 2 (40). P. 87-90.
6. Galiev, I. G. Influence of the level of operation of equipment on indicators of the use of tractors in agricultural production [Vliyaniye urovnya ekspluatatsii tekhniki na pokazateli ispolzovaniya traktorov v agrarnom proizvodstve] / I. G. Galiev, R. K. Khusainov // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2015. Vol. 10. No. 4 (38). Pp. 38-40.
7. Galiev I.G., Mukhametshin A.A. Results on substantiation of the influence of the residual resource on the reliability of tractor units and systems. [Rezultaty po obosnovaniyu vliyaniya ostatochnogo resursa na nadezhnost agregatov i sistem traktora]. // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. – Agrarian science of Euro-North-East*. 2010. № 2 (17). P. 66-67.
8. Ensuring possibility of functioning of tractors in agricultural production taking into account residual resources of their units and systems. / I.G. Galiev, K.A. Khafizov, R.C. Khusainov and others. // 19th International Scientific Conference Engineering for rural development Proceedings, Volume 18 May 22-24, 2020 P. 48-53
9. Gritsenko A., Kukov S., Glemba K. Theoretical underpinning of diagnosing the cylinder group during motoring. // *Procedia Engineering* 2. Ser. “2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016”. 2016. P. 1182–1187.
10. Vibroacoustic control of the internal combustion engine gas distribution mechanism. [Vibroakusticheskiy kontrol gazoraspredeletelnogo mekhanizma DVS]. / A.V. Gritsenko, N. Mashrabov, S.A. Baryshnikov and others. // *APK Rossii. – Agriculture of Russia*. 2019. Vol. 26. № 2. P. 203-215.
11. Zyabirov I.M., Machnev V.A., Zyabirov A.I. Remote monitoring of the parameters of the technical condition of the working units of grain harvesters. [Distsionnyy kontrol parametrov tekhnicheskogo sostoyaniya rabochikh agregatov zernoborochnykh kombaynov]. / *Niva Povolzhya. – Niva Volga*. 2016. № 4 (41). P. 75-79.
12. Zakhezina A. M., Malysheva T. V. Vibrational methods of the overhead gas- pipelines technological equipment diagnostics. // *Proceedings of 2nd International Symposium on Mechanical Vibration (ISMV-2000), Islamabad, 2000*. P. 567-572.

Authors:

Gimaltdinov Ildus Khafizovich – Ph.D. of Technical Sciences, associate Professor, e-mail: tskszgau@mail.ru
 Ziganshin Bulat Gusmanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of RAS, e-mail: zigan66@mail.ru
 Galiev Ilgiz Gakifovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Operation and Repair of machines Department, e-mail: drGali@mail.ru
 Dmitriev Andrey Vladimirovich – Ph.D. of Technical Sciences, associate Professor, e-mail: avd-work@mail.ru
 Mukhametshin Albert Akhatovich – Ph.D. of Technical Sciences, e-mail: drgali@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia
 Gritsenko Aleksandr Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, associate Professor, e-mail: alexgrits13@mail.ru
 Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “South Ural State Agrarian University”