

Б.Н. Ванеев, А.В. Кукулевский

НАДЕЖНОСТЬ КОМБАЙНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТИПА ЭКВК4-220

Результаты эксплуатационных испытаний на надежность на 16 шахтах трёх областей выборки из 25 двигателей типа ЭКВК4-220, предназначенных для привода исполнительного органа очистных комбайнов УКД200 и УКД200-250.

К л ю ч е в ы е с л о в а: требования по надежности, одноступенчатые контрольные испытания, асинхронный двигатель, очистной комбайн, виды отказов и повреждений, оценка соответствия.

Результати експлуатаційних випробувань на надійність на 16 шахтах трьох областей вибірки з 25 двигунів типу ЭКВК4-220, призначених для приво́ду виконавчого органу очисних комбайнів УКД200 і УКД200-250.

К л ю ч о в і с л о в а: вимоги по надійності, одноступінчаті контрольні випробування, асинхронний двигун, очисний комбайн, види відмов і пошкоджень, оцінка відповідності.

Постановка проблемы. Разработка и реализация мероприятий по обеспечению заданной надежности взрывозащищенных асинхронных двигателей (АД) для электропривода основных видов горно-шахтного оборудования нового поколения, имеющего повышенную энерговооруженность, в качестве первого этапа исследований предусматривает эксплуатационные испытания на надежность таких АД с целью оценки эффективности использованных в их конструкции технических решений, оценки влияния качества их изготовления, проверки применения изделий строго по их прямому назначению в соответствии с техническими условиями (ТУ) на их поставку и проведения своевременного технического обслуживания, предписанного руководством по эксплуатации изделия.

Одним из новых, перспективных типов АД для электропривода исполнительного органа современных очистных комбайнов типа УКД200 и УКД200–250 является двигатель ЭКВК4–220 [1], разработанный ГП «УкрНИИВЭ» по техническому заданию ГП «Донгипроуглемаш» и изготавливаемый ЧАО «Горловский машиностроитель» и опытно-экспериментальным производством института. Впервые создан комбайновый АД высотой корпуса 400 мм мощностью 220 кВт для режима работы S1 по ГОСТ 183-74, имеющий короткозамыкатель для повышения безопасности обслуживания АД и комбайна.

Вращающие моменты двигателя равны (Н·м):

– номинальный – 1424;

- начальный пусковой – 2844;
- максимальный – 3646,

а превышение температуры обмотки статора свыше 25 °С при расходе воды 20 л/мин составляет всего лишь 125 °С. Подобные характеристики обеспечивают как высокую производительность комбайна при выемке пластов угля мощностью 0,85...1,3 м, так и достаточную надежность обмотки статора, имеющей изоляцию типа «монокласс» класса нагревостойкости Н (180 °С) и снабженной двумя термореле типа SQ1.180.05.0300/0300, отключающими АД при его длительной перегрузке. Аналогичные термореле установлены и на подшипниковых щитах. Поэтому задача определения его эксплуатационной надежности достаточно актуальна.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время опубликованы многочисленные результаты эксплуатационных испытаний на надежность широкой номенклатуры серийно выпускаемых взрывозащищенных АД для горных машин [2–4]. Однако исследования надежности АД нового поколения еще не проводились, а в отдельных публикациях, например [5], рассматривались лишь первоочередные задачи исследования видов и причин их отказов для разработки и реализации наиболее актуальных мер по повышению работоспособности первых серийных образцов таких АД.

Цель статьи. Определение показателей эксплуатационной надежности АД нового поколения типа ЭКВК4–220, используемых для электропривода исполнительного органа современных очистных комбайнов повышенной энерговооруженности типа УКД200 и УКД200–250, и оценка соответствия достигнутых в эксплуатации показателей надежности этих АД требованиям, заданным в ТУ [6].

Результаты исследований. Согласно требованию [6] ЭКВК4–220 должны иметь следующие показатели надежности:

- средний ресурс до первого капитального ремонта T_p , ч – 15000;
- средняя наработка на отказ T_o , ч – 5000;
- гамма-процентный срок сохраняемости до переконсервации (при $\gamma = 90\%$) $T_{сох.\gamma}$, лет – 1;
- средний срок службы до списания $T_{сл}$, лет – 8;
- срок гарантии, лет – 1.

Эксплуатационные испытания АД проводились по разработанной институтом научно-обоснованной методике нормативного документа КНДЗ-09-48-95 [7] и требованиям ГОСТ 27.410-87.

Испытаниям подвергнута выборка подобных АД в количестве 25 образцов, изготовленных опытно-экспериментальным производством ГП «УкрНИИВЭ» в 2009–2011 гг. Поиск образцов производился на основании данных об отгрузке шахтам как отдельных АД, так и укомплектованных ими комбайнов УКД200 и УКД200-250. Сведения предоставлены опытно-экспериментальным производством ГП «УкрНИИВЭ» и ЧАО «Горловский

машиностроитель». Двигатели эксплуатировались на 16 шахтах Днепропетровской, Донецкой и Луганской областей.

По результатам эксплуатационных наблюдений за работой АД совместно с представителями энергомеханических служб шахт были составлены акты обследования АД либо заполнены «Опросные листы» по установленной в [7] форме.

За время испытаний ЭКВК4-220 зафиксировано 15 отказов, из них 12 учитываемых отказов ($r_o = 12$), из которых четыре отказа привели к капитальному ремонту ($r_k = 4$), и три неучитываемых отказа, происшедших явно по вине персонала шахты. Случаев списания АД не отмечено ($r_{cn} = 0$). Претензий по поводу отказов ЭКВК4-220 за период их хранения на шахте перед вводом в эксплуатацию также не предъявлялось ($r_{xp} = 0$).

Основные отказы АД, приведшие непосредственно к их выводу в ремонт, в большинстве случаев сопровождались теми или иными повреждениями, которые хотя и не нарушали работоспособность АД, но ухудшали его состояние. Общий перечень отказов и повреждений приведен в таблице 1.

Наработки АД за время наблюдения определялись как в календарном времени (в сутках), так и в часах машинного времени по формуле из [7]:

$$t_i = \frac{t_2 \cdot D_i}{365} = \frac{2300 \cdot D_i}{365} = 6,3 D_i, \quad (1)$$

где $t_2 = 2300$ ч – нормативная годовая наработка АД очистных узкозахватных комбайнов согласно таблице Б.4 из [7];

D_i – наработка i -го испытуемого АД от начала испытаний до отказа или до окончания наблюдений за работоспособным АД, сут.

Таблица 1

№ п/п	Вид отказа или повреждения	Количество отказов или повреждений	
		шт.	%
1	Износ подшипников	8	25,0
2	Поломка короткозамыкателя	7	21,8
3	Износ зубчатых полумуфт	5	15,5
4	Корпусное замыкание обмотки	3	9,4
5	Поломка лопаток внутреннего вентилятора	2	6,3
6	Поломка вала	2	6,3
7	Снижение сопротивления изоляции	2	6,3
8	Поломка силовых клеммных колодок	2	6,3
9	Дефект вала	1	3,1
Итого		32	100,0

В итоге общая наработка всей выборки ЭКВК4-220 составила:

– в календарном времени $D_{\Sigma} = 7494$ сут = 20,5 года;

– в машинном времени $t_{\Sigma} = 6,3 \cdot 7494 = 47212$ ч.

Оценка достигнутых в эксплуатации значений показателей надежности ЭКВК4-220 проводилась одноступенчатым методом контрольных испытаний по ГОСТ 27.410-87.

При таких испытаниях важное значение имеет вид распределения наработок изделий. Проведенными ранее определительными испытаниями на надежность близких по конструкции и назначению АД типа ЭКВ4У [2] было установлено, что для их наработок характерно распределение Вейбулла-Гнеденко с параметром формы $\nu = 1,2$ и коэффициентом формы $K_{\nu} = 0,94$. Испытуемые АД типа ЭКВК4-220 отличаются от ЭКВ4У тем, что в них изоляция класса нагревостойкости F заменена на более надежную класса H , а вместо режима работы $S4$ с частыми пусками АД используются в длительном режиме $S1$ [6]. Это уменьшило скорость старения изоляции, следствием чего является переход распределения наработок от Вейбулла-Гнеденко к экспоненциальному ($\nu = 1,0$; $K_{\nu} = 1,0$), неоднократно наблюдаемый экспериментально на многих изделиях.

Оценку среднего ресурса до первого капитального ремонта T_p проводим при экспоненциальном распределении по плану типа T при следующих исходных данных:

– приемочное значение среднего ресурса задаем на 20% выше нормированного

$$T_{p,\alpha} = 1,2 \times T_p = 1,2 \times 15000 = 18000 \text{ ч};$$

– браковочное значение среднего ресурса принимаем равным наработке за двукратный гарантийный срок, т.е. за 2 года

$$T_{p,\beta} = 2 \times t_2 = 2 \times 2300 = 4600 \text{ ч};$$

– риски поставщика и потребителя

$$\alpha = \beta = 0,05;$$

– число выходов АД в капитальный ремонт

$$r_k = 4.$$

Проводим необходимые вычисления:

– отношение приемочного значения среднего ресурса к его браковочному значению

$$T_{p,\alpha} / T_{p,\beta} = \frac{18000}{4600} = 3,913; \quad (2)$$

– отношение опытной суммарной наработки выборки испытуемых изделий к приемочному значению среднего ресурса

$$t_{\Sigma} / T_{p,\alpha} = \frac{47212}{18000} = 2,620. \quad (3)$$

По таблице 4 из ГОСТ 27.410-87 находим, что при ближайшем к полученному расчетом табличном значении $T_{p,\alpha} / T_{p,\beta} = 4,032$ и рисках $\alpha = \beta = 0,05$ параметры плана испытаний равны: требуемая относительная нара-

ботка $t_{max}/T_{\alpha} = 2,613$ и предельное допустимое число отказов $r_{np} = 6$. Поскольку в нашем случае $t_{\Sigma} / T_{p,\alpha} > t_{max}/T_{\alpha}$ ($2,620 > 2,613$), а $r_o < r_{np}$ ($4 < 6$), то согласно ГОСТ 27.410-87 результаты испытаний положительные и ЭКВК4-220 имеют в эксплуатации средний ресурс до первого капитально-го ремонта T_p не менее заданного 15000 ч.

Оценку средней наработки на отказ T_o проводим аналогично:

- $T_{o,\alpha} = 1,2 \times T_o = 1,2 \times 5000 = 6000$ ч;
- $T_{o,\beta} = t_r = 2300$ ч (однократный гарантийный срок);
- $\alpha = \beta = 0,05$;
- $r_o = 12$.

Выполняем соответствующие вычисления по формулам (2) и (3) :

$$T_{o,\alpha} / T_{o,\beta} = \frac{6000}{2300} = 2,609;$$

$$t_{\Sigma} / T_{o,\alpha} = \frac{47212}{6000} = 7,870.$$

По таблице 4 из ГОСТ 27.410-87 находим, что при ближайшем к полученному расчетом табличном значении $T_{\alpha} / T_{\beta} = 2,631$ и рисках $\alpha = \beta = 0,05$ параметры плана испытаний равны: $t_{max}/T_{\alpha} = 6,924$ и $r_{np} = 12$. Поскольку в нашем случае $t_{\Sigma} / T_{o,\alpha} > t_{max}/T_{\alpha}$ ($7,870 > 6,924$), а $r_o = r_{np}$ ($12 = 12$), то согласно ГОСТ 27.410-87 результаты испытаний положительные и ЭКВК4-220 имеют в эксплуатации среднюю наработку на отказ T_o не менее заданной 5000 ч.

Оценку среднего срока службы до списания T_{cl} проводим аналогично оценке среднего ресурса, но в расчете используем не суммарное машинное время, а суммарный календарный срок эксплуатации:

- $T_{cl,\alpha} = 1,2 \times T_{cl} = 1,2 \times 8 = 9,6$ года;
- $T_{cl,\beta} = 2 \times t_r = 2 \times 1 = 2$ года;
- $\alpha = \beta = 0,05$;
- $r_{cn} = 0$.

Производим требуемые вычисления:

$$T_{cl,\alpha} / T_{cl,\beta} = 9,6/2 = 4,800;$$

$$D_{\Sigma} / T_{cl,\alpha} = 20,5/9,6 = 2,140.$$

По таблице 4 из ГОСТ 27.410-87 находим, что при ближайшем к полученному расчетом табличном значении $T_{\alpha} / T_{\beta} = 4,651$ и рисках $\alpha = \beta = 0,05$ параметры плана испытаний равны: $t_{max}/T_{\alpha} = 1,970$ и $r_{np} = 5$. Поскольку в нашем случае $D_{\Sigma} / T_{cl,\alpha} > t_{max}/T_{\alpha}$ ($2,140 > 1,970$), а $r_{cn} < r_{np}$ ($0 < 5$), то согласно ГОСТ 27.410-87 результаты испытаний положительные и ЭКВК4-220 имеют в эксплуатации срок службы до списания T_{cl} не менее заданного 8 лет.

Оценку гамма-процентного срока сохраняемости $T_{cox,\gamma}$ проводим по плану типа Р. Согласно статистическим данным среднее время от момента отгрузки комбайновых АД потребителям до их ввода в эксплуатацию со-

ставляет $D_{xp.i} = 8 \text{ мес} = 0,67 \text{ года}$. При объеме испытываемой выборки 25 образцов суммарный срок их хранения равен $D_{xp.\Sigma} = 0,67 \times 25 = 16,75 \text{ года}$, отсюда согласно ГОСТ 27.410-87 число полных циклов хранения равно

$$n_{xp} = \frac{D_{xp.\Sigma}}{T_{cox.\gamma}} = 16,75/1 = 16. \quad (4)$$

По таблице 35 из ГОСТ 27.410-87 при приемочном числе отказов $r_{xp} = C_o = 0$ и рисках $\alpha = \beta = 0,20$ нашему числу циклов хранения $n_{xp} = N = 16$ соответствует браковочный уровень доверительной вероятности данного показателя, равный $P_\beta = 0,900$. Поскольку P_β не ниже γ ($0,900 = 0,9$), то гамма-процентный срок сохраняемости $T_{cox.\gamma}$ ЭКВК4-220 равен заданному значению, т.е. одному году при вероятности 90 %.

Вывод. Двигатели типа ЭКВК4-220 имеют в эксплуатации все показатели надежности, полностью соответствующие требованиям технических условий [6].

Список литературы

1. Электродвигатель ЭКВК4-220 для привода угольного комбайна УКД200–250 / Дмитренко Ю.И., Кукулевский А.В., Абара О.Л., Макаров К.Д., Рипула В.Н. // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2006. – С.295–300.
2. Ванеев Б.Н. Надежность комбайновых электродвигателей ЭКВ4У с изоляцией «монолит» / Б.Н.Ванеев, В.М.Гостищев, А.Г.Ручкин // Уголь Украины. – 1978. – № 11. – С. 36–37.
3. Обеспечение надежности асинхронных двигателей / [Захарченко П.И, Ширнин И.Г., Ванеев Б.Н., Гостищев В.М.]. – Донецк: УкрНИИВЭ, 1998. – 324 с.
4. Ванеев Б.Н. Эксплуатационная надежность взрывозащищенного и рудничного электрооборудования по результатам исследований 2005–2006 годов / Б.Н.Ванеев, В.М.Гостищев // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2007. – С.402–408.
5. Ванеев Б.Н. Разработка и реализация мероприятий по повышению работоспособности и других характеристик шахтных электродвигателей нового поколения / Б.Н.Ванеев, А.В.Кукулевский // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2008. – С.212–215.
6. Двигатели асинхронные типа ЭКВК4–220: технические условия ТУ У 31.1-00217159-069:2005. – Донецк: УкрНИИВЭ, 2005. – 39 с.
7. Электрооборудование взрывозащищенное и рудничное. Надежность. Контроль надежности при эксплуатационных наблюдениях. Планирование, сбор и обработка информации: КНДЗ–09–48–95. – Киев: Минмашпром Украины, 1995. – 40 с.