

**УРОВЕНЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ  
НА НАДЕЖНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА**

*В статье рассматривается методика определения технического состояния асинхронного двигателя и применение ее на практике для прогнозирования надежности производственного процесса.*

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, техническое состояние, уровень технического состояния, надежность, производственный процесс.

*V.V. Bonnet, A.Yu. Loginov, V.V. Potapov*

**THE TECHNICAL STATE LEVEL OF ASYNCHRONOUS ENGINE AND ITS IMPACT  
ON PRODUCTION PROCESS FUNCTIONING RELIABILITY**

*The article deals with methods of asynchronous engine technical state evaluation and their usage in practice for production process reliability forecast.*

**Key words:** asynchronous engine, technical state, technical state level, reliability, production process.

---

В настоящее время асинхронный электродвигатель является наиболее распространенным в приводе сельскохозяйственных агрегатов. Именно надежность этого элемента зачастую определяет качество и количество выпускаемой продукции, так как внезапный выход его из строя может привести к значительному финансовому ущербу.

Электродвигатели находятся в сложных эксплуатационных условиях: тяжелые режимы работы, низкое качество электроэнергии, пыль, влажность, агрессивные среды, сезонность работы, колебания температуры и низкий квалификационный уровень обслуживающего персонала отрицательно сказываются на их работоспособности. Так, при среднем сроке службы 10–15 лет (наработка около 40 тыс. ч) около 20% электродвигателей ежегодно выходят из строя. Средний ущерб от отказа одного электродвигателя в сельском хозяйстве достигает порядка 3000–3500 руб., в животноводстве с поточным производством до 10000 руб. [1].

Поскольку отказы в системе – случайные события, то для их обнаружения необходим контроль технического состояния в течение всего периода эксплуатации, особенно перед непосредственным использованием по назначению. Однако большинство сельскохозяйственных агрегатов при наличии неисправностей и отказов некоторых своих элементов продолжают функционировать, но с пониженной эффективностью, т.е. остаются работоспособными. Особый интерес представляет количественная оценка агрегата, позволяющая определить степень его работоспособности. В большей мере этому условию соответствует методика оценки технического состояния машины по комплексному показателю.

В связи с вышеизложенным возникает необходимость разработки такой методики, которая бы позволяла без больших затрат времени и труда оценивать количественно техническое состояние агрегата. Таким оценочным показателем нами предлагается "уровень технического состояния" ( $Y_{mc}$ ).

Уровень технического состояния – комплексный показатель технического состояния агрегата (машины), определяемый на основе количественных оценок качественных показателей отдельных узлов, выявленных в ходе диагностирования агрегата [2].

Более подробно суть его можно охарактеризовать следующим образом. Техническое состояние машины определяется посредством диагностирования сборочных единиц, составных частей, определяется качество сборки, регулировки и т.д. При этом каждому оцениваемому показателю (качественной характеристике) присваивается количественное ее значение, установленное на основе справочно-нормативной документации и экспертного опроса специалистов. В целом комплексный показатель складывается из оценок каждого из параметров, оцениваемого в ходе диагностирования.

Такое комплексное определение технического состояния, на наш взгляд, позволит выявить готовность к работе непосредственно перед его использованием по назначению и количественно охарактеризовать уровень его технического состояния (степень его работоспособности).

В общем виде техническое состояние машины и ее составных частей характеризуется предельными значениями соответствующих структурных параметров (размеры, дефекты, жесткость и другие характеристики деталей). В процессе эксплуатации машины эти параметры изменяются вследствие протекания необратимых

физико-химических процессов – изнашивания, деформирования, усталости, коррозии и т.п., при этом их изменение носит случайный характер. Параметрами, характеризующими работоспособность узлов, сборочных единиц машины, являются зазоры и натяги в сопряжениях деталей, а также правильность их сборки. Такие параметры машины, как мощность, вибрация, производительность и т.п. являются функциями структурных параметров и могут служить обобщающими показателями оценки работоспособности машины. Так как показатели предельного состояния машин и их частей нормируются в технической документации, то, преобразовав их в относительные величины, можно вычислить и обобщающий показатель технического состояния.

Нами предложена методика оценки технического состояния асинхронного двигателя по комплексному показателю, заключающаяся в следующем. Работоспособность асинхронного электродвигателя во многом зависит от состояния его сборочных единиц, так и их взаимодействия в целом. Исходя из этих направлений был определен ряд обобщающих факторов, состоящих, в свою очередь, из определяющих, характеризующих их состояние. Обобщающие факторы:

- уровень технического состояния электрических частей асинхронного электродвигателя (сопротивление изоляции, сопротивление обмотки постоянному току, состояние стержней ротора, изоляции магнитопровода);
- уровень технического состояния механических частей асинхронного электродвигателя (состояние подшипников и подшипниковых щитов, станины, вала, вентилятора, охлаждающих каналов, креплений, внешний вид);
- уровень состояния динамических показателей (токи и потери опытов холостого хода и короткого замыкания, испытания при повышенной частоте вращения и переходных режимах).

Самыми значимыми являются уровень технического состояния электрических частей электродвигателя, затем идут уровень состояния динамических показателей, уровень технического состояния механических частей.

Определение уровня технического состояния асинхронного двигателя проводилось в три этапа.

На первом этапе проводилась оценка уровня через частные показатели по каждому  $i$ -му определяющему фактору в отдельности. Для определения количественной оценки факторов использована обобщенная функция желательности Харрингтона [3]. В основе ее построения лежит идея преобразования натуральных значений частных факторов в безразмерную шкалу желательности или предпочтительности. Количественные показатели уровней технического состояния электрических машин преобразовали в определенные количественные показатели, среднее значение которых для каждого уровня представлено в таблице 1. Шкала желательности имеет интервал от нуля до единицы. Значение частного отклика  $Q_i = 0$  соответствует абсолютно неприемлемому уровню данного свойства, а значение  $Q_i = 1$  – самому лучшему значению свойства. Поэтому началом отсчета по этой шкале выбрано значение 0,20. При оценке ниже этого значения агрегат считается неработоспособным.

Таблица 1

Показатели уровня технического состояния асинхронного электродвигателя

| Уровень качественного состояния | Уровень количественного состояния |  |
|---------------------------------|-----------------------------------|--|
|                                 | Диапазон                          | Оперативное (среднее) расчетное значение |
| Высокий                         | 1,00–0,80                         | 1,00                                     |
| Средний                         | 0,80–0,50                         | 0,70                                     |
| Низкий                          | 0,20–0,50                         | 0,40                                     |

Определяющие факторы разделены на три уровня: высокий, средний, низкий. Высокий уровень технического состояния соответствует состоянию, когда деталь находятся в идеальном состоянии. Остальные уровни характеризуют степень неисправного, но работоспособного состояния.

Второй – количественную оценку, характеризующую фактическое состояние  $j$ -го обобщающего фактора определяем по следующей зависимости [3]:

$$\hat{O}_j = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m Q_{ij}} , \quad (1)$$

где  $Y_j$  – частный показатель уровня технического состояния  $j$ -го обобщающего фактора;

$Q_{ij}$  – фактическая оценка  $i$ -й характеристики состояния состояния  $j$ -го обобщающего фактора;

$m$  – число определяющих факторов для  $j$ -го обобщающего фактора;  
 $j$  – порядковый номер обобщающего фактора.

Третий, уровень технического состояния асинхронного двигателя определяют с учетом значимости обобщающих факторов:

$$Y_{mc} = \frac{\sum_{j=1}^n \varphi_j Y_j}{\sum_{j=1}^n \varphi_j}, \quad (2)$$

где  $Y_{mc}$  – уровень технического состояния;

$n$  – число обобщающих факторов;

$\varphi_j$  – вес  $j$ -го обобщающего фактора.

Пример расчета уровня технического состояния асинхронного двигателя приведен в таблице 2.

Таблица 2  
Пример расчета уровня технического состояния асинхронного двигателя

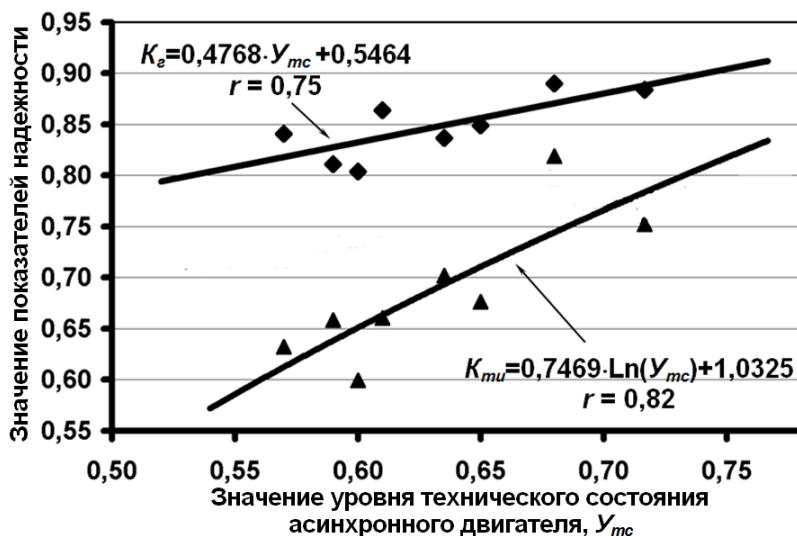
| Обобщающие факторы  | Уровень | Определяющие факторы   | Уровень |
|---|---------|--|---------|
| Уровень технического состояния электрических частей асинхронного электродвигателя | 0,654   | Уровень технического состояния сопротивления изоляции                    | 0,7     |
|   |         | Уровень технического состояния сопротивления обмотки постоянному току    | 1       |
|   |         | Уровень технического состояния стержней ротора, изоляции магнитопровода  | 0,4     |
| Уровень технического состояния механических частей асинхронного электродвигателя  | 0,788   | Уровень технического состояния подшипников и подшипниковых щитов, станин | 0,7     |
|   |         | Уровень технического состояния вентилятора, охлаждающих каналов.         | 1       |
|   |         | Уровень технического состояния вала, креплений                           | 0,7     |
| Уровень технического состояния динамических показателей                           | 0,654   | Токи и потери холостого хода и короткого замыкания                       | 1       |
|   |         | Испытание при повышенной частоте вращения                                | 0,4     |
|   |         | Испытание при переходных режимах   | 0,7     |

$$Y_{mc} = \frac{1 \cdot 0,65 + 0,41 \cdot 0,79 + 0,86 \cdot 0,65}{1 + 0,41 + 0,86} = 0,675.$$

По данной методике был проведен осмотр электродвигателей, установленных в ООО «Надежда» Осинского района. Всего было проверено 24 электродвигателя мощностью от 0,5 до 7 кВт. В ходе осмотра установлено, что средний уровень технического состояния равен 0,48, что соответствует низкому техническому состоянию. Практически у всех уровень состояния механических частей электродвигателя неудовлетворительный.

По уровню технического состояния электрических частей, в связи с эксплуатацией в тяжелых условиях, состояние изоляции обмоток находится на низком уровне, двигатели во время работы перегреваются.

Также была определена зависимость показателей надежности асинхронного двигателя от уровня его технического состояния, которая представлена на рисунке.



Зависимость показателей надежности от уровня технического состояния асинхронного двигателя

Анализ зависимостей показателей надежности асинхронного двигателя показывает, что с увеличением  $Y_{tc}$  значения коэффициентов готовности  $K_r$  и технического использования  $K_{ti}$  возрастают. Аппроксимирующие выражения выглядят следующим образом:

$$K_r = 0,4768 \cdot Y_{tc} + 0,5464; \quad (r = 0,75); \quad (3)$$

$$K_{ti} = 0,7469 \cdot \ln(Y_{tc}) + 1,0325; \quad (r = 0,82). \quad (4)$$

Следует отметить значительные расхождения значений комплексных показателей надежности агрегата при  $Y_{tc} < 0,6$ . Это объясняется тем, что затраты времени на техническое обслуживание возрастают при неудовлетворительном (предельном) состоянии сборочных единиц и узлов агрегата.

### Выводы

Большинство методов и средств определения технического состояния асинхронных двигателей, используемых в настоящее время, оценивает по отдельным качественным показателям, что не дает полного представления о работоспособности асинхронного двигателя. Разработанная нами методика определения общего уровня технического состояния асинхронного электродвигателя по комплексному показателю позволяет дать количественную оценку  $Y_{tc}$ , проверить качество ремонта (технического обслуживания), определить степень готовности асинхронного электродвигателя к эксплуатации и дать соответствующие прогнозы его использования с учетом всех качественных показателей.

### Литература

1. Тонких В.Г. Метод диагностики асинхронных электродвигателей в сельском хозяйстве на основе анализа параметров их внешнего магнитного поля: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02. – Барнаул, 2009. – 20 с.
2. Боннет В.В., Синельников А.М., Логинов А.Ю. Оценка состояния асинхронного двигателя по комплексному показателю // Сб. ENGINEERING PROBLEMS IN AGRICULTURE AND INDUSTRY. – Улан-Батор, 2010. – №2–4. – С. 101–105.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с.