

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕВЗВЕШЕННОЙ СТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И ТРЕБУЕМОЙ СТОИМОСТИ ЗАЩИТЫ

Е.В. Лавцевич, аспирантка (УО БГАТУ)

Аннотация

Определены средневзвешенная стоимость электродвигателя в сельском хозяйстве и требуемые стоимости устройств защиты.

Введение

Применение комплексных и универсальных защитных устройств ограничивается экономическими факторами. Более простое защитное устройство стоит дешевле, но обладает меньшей эффективностью. Более эффективные устройства, как правило, стоят дороже. Для выбора оптимального решения необходимо проводить технико-экономический расчет, учитывая затраты на приобретение устройства, его монтаж и эксплуатацию, а также ущерб от отказа электродвигателя. На стадии проектирования комплексного универсального устройства защиты надо иметь представление о средневзвешенной стоимости электродвигателя в сельском хозяйстве и зависимости стоимости устройства защиты от средней аварийности электродвигателей на рабочих машинах, учитывая мощность электродвигателя. Ответы на эти вопросы приведены ниже в рассматриваемой статье.

Основная часть

В сельскохозяйственном производстве работают электродвигатели в основном малых мощностей, поэтому стоимость устройств защиты асинхронных двигателей должна быть небольшой, соизмеримой со стоимостью электродвигателя и обоснованной.

Определим предполагаемую стоимость устройства защиты из условия выбора устройств защиты [1, с.94] и [2, с.72] по экономическому критерию:

$$\frac{K_{защ}}{K_{эд}} \leq \frac{(\lambda_1 - \lambda_2) \cdot (1 + V^*)}{E}, \quad (1)$$

$$\lambda_1 - \lambda_2 = v_c \cdot (\varepsilon_n - \varepsilon_0), \quad (2)$$

где $K_{защ}$, $K_{эд}$ – стоимость устройств защиты и электродвигателя, руб.;

λ_1, λ_2 – интенсивность отказов сравниваемых устройств защиты, год⁻¹;

E – коэффициент эффективности (ставка долгосрочного депозита), $E=0,125$ год⁻¹;

$V^*=U/K_p$ – относительный технологический ущерб, приходящийся на один отказ электродвигателя;

U – стоимостная оценка технологического ущерба при отказе, руб.;

K_p – стоимость капитального ремонта электродвигателя, вызвавшего простой, руб.;

v_c – среднестатистическая интенсивность отказа или аварийность электродвигателя в год в сельском хозяйстве или на рассматриваемой рабочей машине, год⁻¹;

$\varepsilon_n, \varepsilon_0$ – эффективность работы нового и базового устройства защиты [1, с.17].

Из формул (1) и (2) видно, что стоимость устройств защиты прямопропорциональна стоимости электродвигателя, аварийности электродвигателя на рассматриваемой рабочей машине, разности между эффективностью работы нового и базового устройств защиты.

Аварийность электродвигателей в сельском хозяйстве колеблется от 0,40 год⁻¹ (насосы жидкого навоза) до 0,14 год⁻¹ (электрокалорифер) [1, с.13].

Эффективность работы ε_{kj} k -го устройства защиты [1, с.16] при защите электродвигателя j -го механизма находится по формуле:

$$\varepsilon_{kj} = \sum_1^i p_{ij} \cdot q_{ik}, \quad (3)$$

где p_{ij} – вероятность отказа электродвигателя на j -том механизме по основным аварийным причинам;

q_{ik} – вероятность срабатывания k -го устройства защиты при основных аварийных причинах.

Из всех устройств защиты в сельском хозяйстве наиболее широко используется электротепловое токовое реле (базовый вариант). Для настроенного в лаборатории электротеплового токового реле эффективность работы на насосе составляет 0,58, на электрокалорифере – 0,69 [1, с.17].

В качестве предполагаемого нового устройства защиты примем комплексное универсальное устройство, для которого $\varepsilon_j = 0,93$ (по аналогии с устройством,

вом ФУЗ-И [1, с.92]). В этом случае для насосов (наибольшая аварийность):

$$K_{защ} \leq K_{эл.двиг.} \cdot \frac{0,40 \cdot (0,93 - 0,58) \cdot (1 + y^*)}{0,125} = 1,12(1 + y^*) \cdot K_{эл.двиг.} \quad (4)$$

Для электрокалорифера (наименьшая аварийность):

$$K_{защ} \leq K_{эл.двиг.} \cdot \frac{0,14 \cdot (0,93 - 0,69) \cdot (1 + y^*)}{0,125} = 0,269(1 + y^*) \cdot K_{эл.двиг.} \quad (5)$$

Аварии электродвигателей приводят к прямому и технологическим ущербам. Прямой ущерб определяется стоимостью ремонта электродвигателя и расходами на его замену. В этом случае технологический ущерб $y^*=0$.

Технологический ущерб вызван нарушением технологического процесса, простоем оборудования и рабочих, недоотпуском продукции. В этом случае технологический ущерб $y^*>0$. Для неотвественных приводов рабочих машин можно применять $y^*=0,5$ [2, с.72].

С учетом вышесказанного, только при прямом ущербе (при $y^*=0$) предполагаемая стоимость устройств защиты должна составлять:

$$\begin{aligned} \text{для электрокалорифера } K_{защ.} &\leq 0,269 K_{эл.двиг.}; \\ \text{для насоса } K_{защ.} &\leq 1,12 K_{эл.двиг.} \end{aligned} \quad (6)$$

При технологическом ущербе $y^*=0,5$ предполагаемая стоимость устройств защиты составляет:

$$\begin{aligned} \text{для электрокалорифера } K_{защ.} &\leq 0,4 K_{эл.двиг.}; \\ \text{для насоса } K_{защ.} &\leq 1,68 K_{эл.двиг.} \end{aligned} \quad (7)$$

Стоимость асинхронного электродвигателя существенно зависит от его мощности. Кроме того, стоимость электродвигателя одной и той же мощности зависит от числа полюсов, от монтажного исполнения, от серии, от назначения. Подставляя значения $K_{эл.дв.}$ в (6) и (7), получим стоимость устройств защиты электродвигателей в зависимости от номинальной мощности защищаемого электродвигателя (рис.1). Стоимость электродвигателей взята по данным официального дилера заводов-изготовителей электродвигателей, ООО «Промэлектрокомлект» (г. Минск) на 10.01.2009 г.

Для получения средневзвешенной стоимости устройств защиты в сельском хозяйстве применим следующую методику.

С помощью программы «Excel» аппроксимируем зависимости стоимости асинхронных электродвигателей от номинальной мощности. Для двухполюсных асинхронных электродвигателей серии АИР, на лапах, общего назначения, номинальной мощности P_n до 18,5 кВт, в белорусских рублях, зависимость стоимости от номинальной мощности электродвигателей имеет вид:

$$K_{эл.двиг.2} = 113\,151 + 67\,051 P_n \quad (8)$$

Для аналогичных, но четырехполюсных электродвигателей:

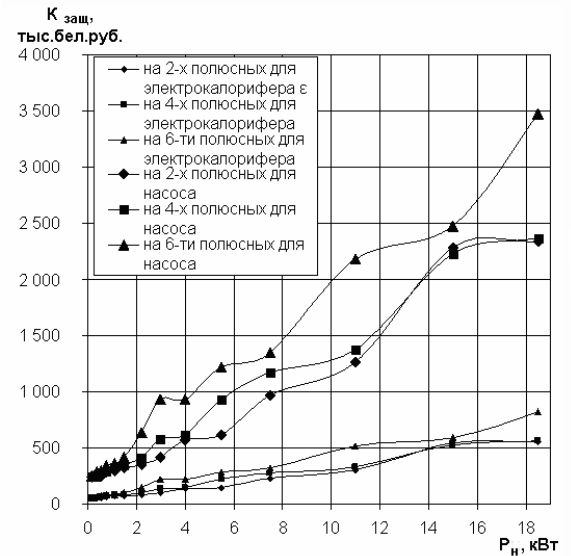
$$K_{эл.двиг.4} = 120\,570 + 72\,424 P_n \quad (9)$$

Для аналогичных, но шестиполюсных электродвигателей:

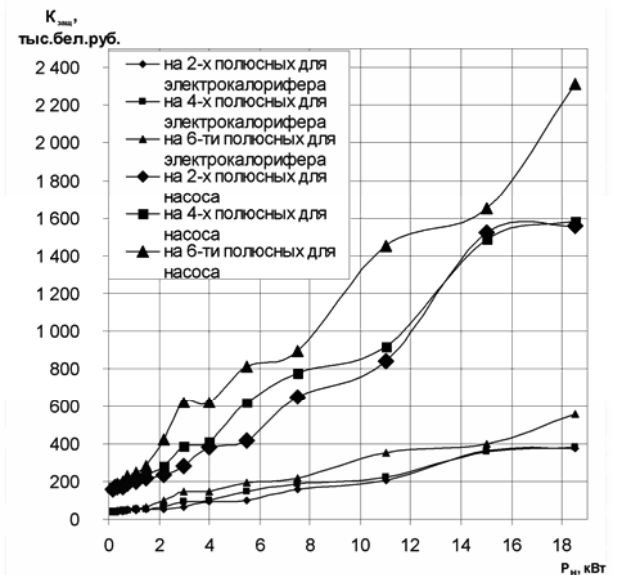
$$K_{эл.двиг.6} = 163\,309 + 93\,262 P_n \quad (10)$$

Таким же образом аппроксимированы зависимости стоимости асинхронных электродвигателей серии АИР мощностью 22 кВт и более, а также зависимости стоимости новой серии российских электродвигателей марки АИМ от их номинальной мощности.

Заменим линейно возрастающую функцию стои-



а)



б)

Рисунок 1. Требуемая стоимость устройств защиты электродвигателя в зависимости от номинальной мощности электродвигателя при прямом ущербе: $y=0$ (а) и при $y=0,5$ (б)

мости асинхронных электродвигателей от номинальной мощности ступенчатой линией (рис.2), причем ступени мощности выберем в соответствии со структурой парка электродвигателей в сельском хозяйстве (табл. 1) по средней мощности интервала [2, с.20]. Обозначим ступени стоимости K_{ni} , где n – ступень синхронной скорости; $n=2$ при 3000 мин^{-1} ; $n=4$ при 1500 мин^{-1} ; $n=6$ при 1000 мин^{-1} ; i – ступень мощности (от 1 до 6).

По (8)...(10) определено, что $K_{21}=146\ 676$; $K_{22}=247\ 253$; $K_{23}=381\ 355$; $K_{24}=616\ 033,5$; $K_{25}=1\ 118\ 916$; $K_{26}=2\ 594\ 038$; $K_{41}=156\ 782$; $K_{42}=265\ 418$; $K_{43}=410\ 266$; $K_{44}=663\ 750$; $K_{45}=1\ 206\ 930$; $K_{46}=2\ 800\ 258$; $K_{61}=209\ 940$; $K_{62}=349\ 833$; $K_{63}=536\ 357$; $K_{64}=862\ 774$; $K_{65}=1\ 562\ 239$; $K_{66}=3\ 614\ 003$.

Таблица 1. Структура парка асинхронных электродвигателей в сельском хозяйстве

Синхронная частота вращения, мин^{-1}	Распределение парка электродвигателей, % от общего числа, при номинальной мощности (кВт)						Всего
	До 1	1,1..3	3,1...5	5,1...10	10...20	Более 20	
3000	1,0	6,0	2,0	1,8	1,0	1,2	13,0
1500	5,0	35,0	13,0	11,0	2,0	2,0	68,0
1000	1,0	7,0	5,0	4,2	1,0	0,8	19,0
Всего	7,0	48,0	20,0	17,0	4,0	4,0	100

Структура парка асинхронных электродвигателей в сельском хозяйстве имеет 6 ступеней мощности и 3 уровня частоты вращения. Распределение электродвигателей (%) в табл. 1 обозначим C_{ni} , где n – ступень синхронной скорости; i – ступень мощности: $n=2$ при 3000 мин^{-1} , $n=4$ при 1500 мин^{-1} , $n=6$ при 1000 мин^{-1} .

Следовательно, $C_{21}=1\%$; $C_{22}=6\%$; $C_{23}=2\%$; $C_{24}=1,8\%$; $C_{25}=1\%$; $C_{26}=1,2\%$;

$C_{41}=5\%$; $C_{42}=35\%$; $C_{43}=13\%$; $C_{44}=11\%$; $C_{45}=2\%$; $C_{46}=2\%$;

$C_{61}=1\%$; $C_{62}=7\%$; $C_{63}=5\%$; $C_{64}=4,2\%$; $C_{65}=1\%$; $C_{66}=0,8\%$.

Средневзвешенная стоимость электродвигателя в сельском хозяйстве на январь 2009 года определена по формуле:

$$K_{\text{ср.взв.эл.дв.}} = \frac{\sum K_{ni} \cdot C_{ni}}{100} \quad (11)$$

Для асинхронных электродвигателей серии АИР в сельском хозяйстве по (11) $K_{\text{ср.взв.эл.дв.}}=518\ 738$ бел.руб. Аналогично определена средневзвешенная стоимость электродвигателя серии АИМ в сельском хозяйстве. $K_{\text{ср.взв.эл.дв.}} = 1\ 067\ 992$ бел.руб.

Предполагаемые средневзвешенные стоимости устройств комплексной универсальной защиты асинхронных электродвигателей вычислены по формуле (6) и (7) и представлены в табл. 2.

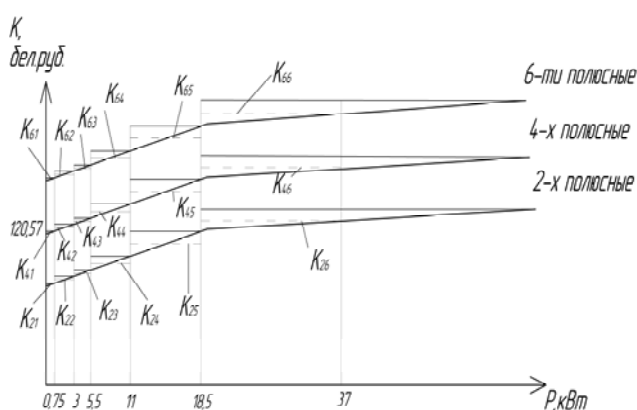


Рисунок 2. Ступенчатая аппроксимация зависимостей (8)...(10)

Таблица 2. Предполагаемые наибольшие стоимости устройств комплексной универсальной защиты асинхронных электродвигателей

Для электродвигателей серии	Стоимость устройств защиты (бел.руб.) при различных технологических ущербах y и различной аварийности электродвигателей γ_c (1/год).			
	$y=0$		$y=0,5$	
	$\gamma_c=0,14$ (электрокалорифера)	$\gamma_c=0,40$ (насоса)	$\gamma_c=0,14$ (электрокалорифера)	$\gamma_c=0,41$ (насоса)
АИР	139 540	580 986	207 495	871 480
АИМ	287 290	1 196 151	427 197	1 794 226

Заключение

1. Средневзвешенная стоимость электродвигателя серии АИР в сельском хозяйстве на январь 2009 года составила 518 738 бел.руб., а перспективной серии АИМ – 1 067 992 бел.руб.

2. При нулевом технологическом ущербе средневзвешенная стоимость устройства защиты асинхронного электродвигателя серии АИР для сельского хозяйства должна составлять от 139 540 до 580 986 бел.руб., а при относительном технологическом ущербе $y=0,5$ (не ответственные электроустановки) от 207 495 до 871 480 бел.руб., где меньшие цифры соответствуют низкой аварийности электродвигателя (электрокалорифера), а большие цифры – высокой аварийности электродвигателя (насоса).

ЛИТЕРАТУРА

- Грундулис, А.О. Защита электродвигателей в сельском хозяйстве/ А.О. Грундулис. – 2-е изд. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 111с.
- Пястало, А.А. Эксплуатация электрооборудования: учебник/ А.А. Пястало, Г.П. Ерошенко. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 287с.