

ВЫБОР ВАРЬИРУЕМЫХ ПЕРЕМЕННЫХ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

Кашеутов Д. В.

Научный руководитель Баклин В.С., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kasheutov@sibmail.com

Для привода высокоэффективных, конкурентоспособных на внутреннем и внешнем рынке вентиляторов высокой производительности, требуются высоковольтные с номинальным напряжением 6 кВ взрывозащищенные четырёхполюсные асинхронные двигатели мощностью 200 кВт и выше. Эти двигатели должны: хорошо встраиваться в вентиляционную установку, т. е. быть компактными; иметь улучшенные пусковые свойства; удовлетворять эксплуатационно-техническим требованиям, предъявляемым к асинхронным двигателям для привода вентиляторов и при минимальных габаритных размерах обеспечивать КПД не ниже двигателей аналогов – ВАО или 1ВАО.

Использование для привода вентиляторов серийных высоковольтных взрывозащищенных двигателей типа ВАО, 1ВАО не оправдано из-за их пусковых свойств, конструктивных особенностей и массогабаритных показателей. Поэтому проектирование и создание высоковольтных асинхронных двигателей, предназначенных для привода вентиляторов высокой производительности, является актуальной задачей.

В данной работе рассматривается проектирование взрывозащищенного высоковольтного асинхронного двигателя для привода вентилятора высокой производительности. Номинальная мощность двигателя $P_n = 200$ кВт, номинальное напряжение $U_n = 6$ кВ, число полюсов $2p = 4$.

Требование компактности, предъявляемое к проектируемому двигателю, ограничивает наружный диаметр $D_n = 0,66$ м и активную длину сердечника статора $l_1 = 0,31$ м.

В вентиляторах интенсивный наружный обдув двигателя осуществляется главным вентилятором, поэтому в проектируемом двигателе имеется возможность исключить радиальные вентиляционные каналы, что существенно упрощает конструкцию сердечника статора. Система вентиляции – аксиальная.

С целью повышения КПД двигателя короткозамкнутая обмотка ротора – сварная из меди. Для снижения массы двигателя станина – сварная из стального проката.

В оптимизационных расчётах обычно используются [1] следующие данные: *постоянные*, неизменные в течение всего расчёта-поиска;

лимитирующие показатели (ограничения); варьируемые переменные, изменяемые в течение всего расчёта-поиска и *критерий оптимальности*.

Постоянные данные; лимитирующие показатели представлены в [1]. При заданных значениях наружного диаметра и активной длины сердечника статора задачей оптимизационных расчётов является определение диаметра расточки статора D_1 , обмоточных данных статора, размеров пазов статора и ротора, что и предопределяет выбор варьируемых переменных.

Варьируемые переменные. За варьируемые переменные приняты диаметр расточки статора D_1 , число эффективных проводников в пазу статора $U_{п1}$, ширина прямоугольного провода $b_{м1}$ обмотки статора, ширина медного стержня в пазу ротора $b_{с2}$.

При оптимизационных расчётах возникают трудности в выборе значений и пределов варьирования переменных D_1 , $U_{п1}$, $b_{м1}$.

Существуют рекомендации [3] к выбору диаметра расточки статора как $D_1 = k_D \cdot D_i$. При номинальном напряжении 6 кВ, $2p=4$ коэффициент $k_D = 0,61 \dots 0,66$. Пределы варьирования диаметра расточки статора $D_1 = 0,4 \dots 0,435$ м. Такие пределы варьирования диаметра расточки статора свойственны серийным асинхронным двигателям с кратностью пускового момента $\lambda_{\tau} \geq 1$ о. е.

Кратность пускового момента асинхронного двигателя для привода вентилятора обычно не оговаривается и может быть меньше единицы. По рекомендациям МЭК в асинхронных двигателях перспективных разработок кратность пускового момента может быть снижена до 0,65 о. е. Снижение кратности пускового момента в асинхронном двигателе для привода вентилятора до 0,65 о. е. позволит также снизить кратность пускового тока, что актуально для прямого пуска асинхронного двигателя.

С целью снижения кратности пускового тока целесообразно рассмотреть возможность проектирования асинхронного двигателя для

привода вентилятора при диаметрах расточки статора $D_1 = 0,37; 0,38; 0,39$ и $0,4$ м.

Для определения значений и предела варьирования числа проводников в пазу статора $U_{п1}$ в работе предлагается использовать предельные значения электромагнитных нагрузок – линейной нагрузки A_{1max} и индукции в воздушном зазоре $B_{\delta max}$. На основании опыта проектирования асинхронных двигателей для привода вентиляторов и рекомендаций [2, 3] приняты: линейная нагрузка $A_{1max} = 42 \cdot 10^3$ А/м, произведение линейной нагрузки на плотность тока $AJ_{max} = 18,0 \cdot 10^{10}$ А²·м³, индукция в воздушном зазоре $B_{\delta max} = 0,9$ Тл.

При выбранных значениях диаметра расточки статора и постоянных исходных данных минимальное число активных проводников обмотки в пазу статора $U_{пmin}$ определяется допустимой индукцией в воздушном зазоре $B_{\delta max}$, а максимальное $U_{пmax}$ – допустимой линейной нагрузкой A_{1max} . Минимальное и максимальное число активных проводников в пазу статора предварительно рассчитываются по формулам:

$$U_{пmin} \geq \frac{1}{B_{\delta max}} \cdot \frac{2p \cdot m_1 \cdot a_1 \cdot k_E \cdot U_{нф}}{4,44 \cdot f_1 \cdot k_{wl} \cdot Z_1 \cdot D_1 \cdot l_1}, \quad (1)$$

где $k_E = 0,97$, $k_{wl} = 0,91$ – обмоточный коэффициент;

$$U_{пmax} \leq A_{1max} \cdot \frac{m_1 \cdot a_1 \cdot \eta_{эн} \cdot U_{нф} \cdot \pi \cdot D_1}{P_n \cdot Z_1}, \quad (2)$$

где $\eta_{\delta i} = \eta_{\delta} \cdot \cos \varphi_x$ – энергетический КПД двигателя аналога. Результаты расчётов по формулам (1), (2) представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчётов

D_1 , м	0,37	0,38	0,39	0,4
$U_{пmin}$	32	32	32	30
$U_{пmax}$	34	34	36	36

В зависимости от диаметра расточки статора табл.1 число активных проводников в пазу статора принимает значения $U_{п1} = U_{пmin} \dots U_{пmax}$ с шагом 2 для двухслойной обмотки.

В асинхронных двигателях с открытыми пазами статора значительную часть потерь составляют добавочные потери – пульсационные и поверхностные. Уменьшение добавочных потерь возможно за счёт применения магнитных клиньев или уменьшения ширины паза статора. В данной работе рассматривается возможность снижения добавочных потерь за счёт уменьшения ширины открытого паза статора.

Чем меньше ширина прямоугольного провода $b_{м1}$, тем меньше ширина паза статора. Минимальная ширина стандартного медного провода принята $b_{мин} = 3,55$ мм.

Для определения максимальной ширины провода $b_{мmax}$ в первом приближении рассчитывается сечение прямоугольного провода, мм²,

$$q_{мx} = \frac{P_n \cdot 10^3}{m_1 \cdot U_{нф} \cdot \eta_{эн} \cdot a_1} \cdot \frac{A_{1max}}{AJ_{max}} \cdot 10^6. \quad (3)$$

Для проектируемого двигателя $q_{i \delta} = 5,55$ мм². Максимальная ширина провода $b_{мmax} = q_{мx} / a_{мин} = 4,7$ мм.

С учётом размеров стандартных прямоугольных проводов принимаем $b_{i1} = 3,55; 4,5$ и $4,75$ мм.

Сечение провода, рассчитанное по формуле (3), позволяет в первом приближении определить толщину прямоугольного провода $a_{мx} = q_{мx} / b_{м1}$ и выбрать ближайшую стандартную толщину провода $a_{м1} \approx a_{мx}$.

Для изготовления стержней короткозамкнутой обмотки ротора используется листовая медь. Пределы варьирования толщиной стержня короткозамкнутой обмотки ротора приняты $b_c = 5; 5,5; 6$ и $6,5$ мм, что соответствует стандартной толщине листовой меди.

Выводы

1. На основании предельных электромагнитных нагрузок предложен алгоритм определения значений и пределов варьирования отдельных независимых переменных.
2. Предложенный алгоритм позволит существенно ограничить область поиска оптимального варианта расчётов.

Список литературы

1. Баклин В.С., Пушкарёв И.И. Алгоритм оптимизационных расчётов высоковольтных асинхронных двигателей // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 4. – С. 132–136.
2. Копылов И.П., Клоков Б.К., Морозкин В.П. и др. Проектирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 2005. – 767 с.
3. Гуринов Я.С., Кузнецов Б.И. Проектирование серий электрических машин. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.