

6
A 67

5261

МВнССО УССР

Киевский ордена Ленина политехнический институт
им.50-летия Великой Октябрьской социалистической
р е в о л ю ц и и

На правах рукописи

Х
СИСИР КУМАР НАГ

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
ДЛЯ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМЫХ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

(Специальность № 05230 - Электрические машины)

А в т о р е ф е р а т .

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев-1971

Работа выполнена на кафедре электрических машин
Киевского ордена Ленина политехнического института име-
ни 50-летия Великой Октябрьской социалистической рево-
люции.

Научный руководитель -
член-корреспондент АН УССР, доктор технических наук,
профессор И.М. ПОСТНИКОВ

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, профессор А.Л. НАУМОВ

2. Кандидат технических наук, доцент

А.Г. ШАПОВАЛЕНКО.

Ведущее предприятие - Институт электродинамики АН
УССР.

Автореферат разослан "15" марта 1971 г.

Защита диссертации состоится "19" апреля 1971 г.

на заседании Совета по присуждению ученых степеней
электро-энергетического факультета Киевского ордена
Ленина политехнического института.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
института.

Ваш отзыв на автореферат в 2 экземплярах просим
направлять по адресу: Киев-56, Брест-Литовский проспект,
№ 39, Киевский политехнический институт.

Ученый секретарь Совета

К П И

(Г.М. ИЩЕНКО)

Министерство высшего и среднего специального образования
У С С Р

Киевский ордена Ленина политехнический институт
им. 50-летия Великой Октябрьской социалистической революции

На правах рукописи

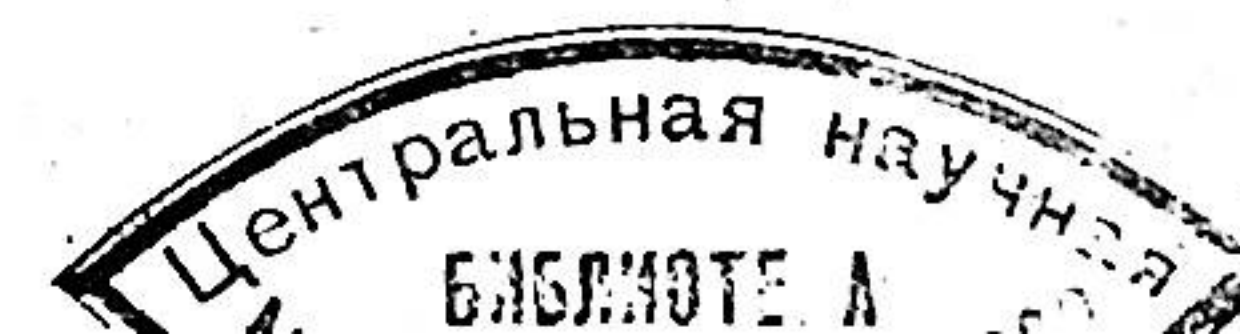
СИСИР КУМАР НАГ

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
ДЛЯ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

/ Специальность № 05230 - Электрические машины /

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев-1971



621.31.3.33
A67

Работа выполнена на кафедре электрических машин Киевского ордена Ленина политехнического института имени 50-летия Великой Октябрьской социалистической революции.

Научный руководитель -

член-корреспондент АН УССР, доктор технических наук,
профессор И.М.ПОСТНИКОВ.

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, профессор А.Л.НАУМОВ
2. Кандидат технических наук, доцент А.Г.ШАПОВАЛЕНКО.

Ведущее предприятие - Институт электродинамики АН УССР.

Автореферат разослан "15" *марта* 1971 г.

Защита диссертации состоится "19" *апреля* 1971 г.
на заседании Совета по присуждению ученых степеней электро-
энергетического факультета Киевского ордена Ленина политех-
нического института.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ваш отзыв на автореферат в 2-х экземплярах просим на-
править по адресу: Киев-56, Брест-Литовский проспект, № 39
Киевский политехнический институт.

Ученый секретарь Совета
К П И

Г.М.Ищенко.

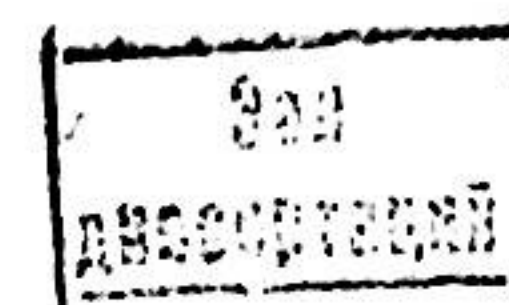
Одним из способов регулирования скорости вращения асинхронного двигателя является частотное регулирование. В настоящее время в связи с бурным развитием тиристорных преобразователей и регулируемых двигателей переменного тока требуется исследование комплекса проблем, связанных с использованием частотно-регулируемых приводов. Такие приводы могут применяться в транспортных машинах, в нефтедобывающей промышленности и в ряде других отраслей, где существуют габаритные ограничения.

Одной из важных проблем является проблема проектирования оптимальных асинхронных двигателей с частотным регулированием скорости вращения. Условия работы двигателей при изменении частоты заметно отличаются от условий работы при постоянной частоте, при этом методика оптимизации размеров при проектировании таких двигателей должна отличаться от обычной. Применение современных вычислительных средств позволяет в короткие сроки произвести расчет многих вариантов по научно сформулированным критериям.

Для оптимизации обычных асинхронных двигателей при помощи ЦВМ разработано много методов, но работы по частотно-регулируемым асинхронным машинам отсутствуют. В настоящей диссертационной работе рассмотрены некоторые вопросы поиска оптимальных размеров частотно-управляемых асинхронных двигателей при наличии строгих габаритных ограничений. Диапазон изменения скорости вращения считается заданным.

В нашей работе принимались следующие ограничения:

I/ мощность до 100 квт,



2/ скорость вращения от 300 до 4500 об/мин.

В качестве критерия оптимальности выбран максимум мощности при ограничениях по габаритам и допускаемым температурам. Машины должны удовлетворять техническим условиям: заданной кратности пускового момента, кратности пускового тока и кратности максимального момента.

Диссертационная работа состоит из пяти глав текста с рисунками, таблицами и двумя приложениями.

I

В главе I приведены элементы теории частотно-управляемого асинхронно двигателя, которые разделены на три части: 1/ уравнения частотного регулирования для идеального двигателя, 2/ законы частотного управления реальных двигателей и 3/ характеристики асинхронных двигателей при изменении частоты.

За основу принят известный закон регулирования акад. М.П.Костенко для частотного регулирования асинхронного двигателя:

$$\frac{U_1}{U_{1H}} = \frac{f_1}{f_{1H}} \sqrt{\frac{M}{M_H}} \quad /1/$$

Выполнение этого соотношения при частотном управлении идеальной машины без учета насыщения и активного сопротивления приводит к обеспечению постоянства перегрузочной способности двигателя, $\cos \varphi$ и жесткости его механических характеристик. На практике этот закон оказывается пригодным лишь в тех случаях, когда скорость вращения регулируется в небольших пределах $\frac{n_{max}}{n_{min}} \nlessgtr 2 : 1$. При значительных изменениях скорости вращения двигателя выполнение соотношения /1/ уже

не обеспечивает постоянства перегрузочной способности и можно принимать модификацию закона /1/ для реальных машин в виде:

$$\frac{E_1}{E_{1H}} = \frac{f_1}{f_{1H}} \sqrt{\frac{M}{M_H}} \quad /2/$$

или

$$\frac{\phi}{\phi_H} = \sqrt{\frac{M}{M_H}} \quad /3/$$

Получены рабочие и прочие характеристики по поверочному расчету на ЦВМ для двигателя АО 41-4 при переменной частоте 15 Гц - 120 Гц. При низких частотах все показатели, кроме $\cos \varphi$, ухудшаются. Повышение температуры в обмотке статора имеет минимум при частоте 50 - 60 Гц. При низких частотах и также при высоких частотах оно увеличивается. С точки зрения проектирования частотно-управляемого двигателя можно прийти к выводу, что кратность пускового момента и кратность максимального момента могут быть удовлетворены рациональным выбором электромагнитных нагрузок и параметров машины, но вопрос перегрева двигателя более сложный. Этот вопрос может быть частично решен при помощи уменьшения электромагнитных нагрузок машины и частично с применением принудительной вентиляции.

II

Вторая глава работы посвящена рассмотрению существующих методов оптимального проектирования. Применяемые в практике методы расчета электрических машин разделены на два класса: к первому можно отнести упрощенные методы, не требующие применения вычислительных машин, ко второму можно от-

нести уточнение методов для разработки на ЦВМ. Важно отметить, что даже для расчета на ЦВМ необходимо установить некоторые зоны оптимальности путем аналитических расчетов на основе работ проф. И.М.Постникова и других авторов.

В общем виде задача оптимального проектирования электрических машин является задачей нелинейного программирования. Такую задачу можно сформулировать следующим образом. Показатель качества или критерий оптимальности машины изображены через следующие функции:

$$M = M(x_i) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad /4/$$

где: x_i - независимые переменные. Задача оптимального проектирования - максимизировать эту функцию при наличии ограничения /или минимизировать/

$$x_i \geq 0 \quad \dots \dots \dots /5/$$

$$H_j(x_i) \leq 0 \quad (j = 1, 2, 3, \dots, m) \quad /6/$$

где: H_j - ограничительные функции /лимитеры/, представляющие собой технические конструктивные и технологические требования к проекту.

n - число независимых переменных,

m - число лимитеров.

Существует много методов поиска как, например, метод обхода узлов пространственной сетки, градиентный метод, метод динамического программирования, метод случайного поиска и т.д. При небольших количествах независимых переменных, метод обхода узлов пространственной сетки является достаточно пригодным.

В третьей главе производится определение области варьирования основных данных проектирования при помощи аналитических зависимостей. С этой целью было рассмотрено два вопроса: 1/ определение оптимального числа полюсов, 2/ определение оптимального отношения $\beta = \frac{\tau}{l}$ при заданных параметрах и при вариации удельных нагрузок - магнитная индукция B_δ , линейная нагрузка A и плотность тока в статоре j .

Выбор оптимального числа полюсов при заданной скорости вращения и при заданных габаритах является основной задачей проектирования. Критерий оптимальности - максимум мощности на единицу объема.

Уравнение полной мощности машины как известно выражается следующим образом:

$$P = \frac{\pi \cdot K_W}{\sqrt{2}} \cdot A \cdot B_\delta \cdot D^2 \cdot l \cdot n \quad \dots \dots \dots /7/$$

где K_W - обмоточный коэффициент,

A - линейная нагрузка статора,

B_δ - магнитная индукция в воздушном зазоре,

D - внутренний диаметр ротора статора,

l - расчетная длина статора,

n - число оборотов в секунду.

Если принять, как обычно,

$$\begin{aligned} l_a &\approx l + \tau \\ D_a &\approx D + K_a \frac{\pi D}{2p} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots /8/$$

и принять отношение $\frac{l_a}{D_a} = \epsilon_n$, а также A и B_δ постоянными, тогда мощность из /7/ можно получить в виде:

$$P = k \cdot D_a^3 \cdot \phi(p) \dots \dots \dots /9/$$

Здесь:

l_a - длина корпуса,

τ - полюсное деление,

D_a - внешний диаметр статора,

$\phi(p)$ - некоторая функция от числа пар полюсов p ,

k_a, k - постоянные.

В работе найдена функция $\phi/p/ = \phi/p/_{opt}$, имеющая максимальное значение при определенном числе полюсов, которое и является оптимальным по заданному критерию максимума мощности.

При заданной величине внешнего диаметра D_a получим максимальную мощность

$$P_{max} = k \cdot D_a^3 \cdot \phi(p)_{opt} \dots \dots \dots /10/$$

При заданной мощности P получим минимальный диаметр

$$D_{a min} = \left[\frac{P}{k \cdot \phi(p)_{opt}} \right]^{1/3} \dots \dots \dots /11/$$

В работе получены оптимальные выражения для $\phi/p/$ при нескольких условиях:

- 1/ при условии заданной номинальной частоты,
- 2/ при условии заданной номинальной скорости вращения,
- 3/ те же условия с учетом изменения индукции в воздушном зазоре и с изменением ϵ_n .

Разные условия дают разные величины оптимального числа пар полюсов, заключенные между одной парой и четырьмя парами в пределах указанной выше мощности машин. Таким образом, мы получаем оптимальную зону числа полюсов для подробного расчета на ЦВМ.

Обычные рекомендации величины β_{opt} , известные из технической литературы являются недостаточными, так как эти рекомендации, во-первых, не учитывают условий изменения параметров и, во-вторых, удельные нагрузки для определения

β_{opt} считаются постоянными.

В качестве независимых переменных при анализе выбраны три величины: плотность тока статора j , индукция в зазоре B_δ , и линейная нагрузка A . Исследование при заданных параметрах машины показало, что при любых значениях j и B_δ существует такое значение A , при котором получается минимум стоимости материалов. Выбор этих независимых переменных оказался целесообразным также для трансформаторов и машин постоянного тока, т.е. является универсальным.

Известно, что удельные нагрузки B_δ и A изменяются при различных τ и, соответственно, мощностях P . Можно построить кривые этих изменений на основе хорошо разработанных построенных машин. По этим кривым мы можем получить исходные значения B_δ и A , а также τ /или D /. Плотность тока может быть выбрана в качестве параметра по соображениям нагрева. При некоторых вариациях диаметра новые значения магнитной индукции и линейной нагрузки можно выразить в виде:

$$\begin{aligned} B_\delta &= B_{\delta u} \left(\frac{D}{D_u} \right)^n \\ A &= A_u \left(\frac{D}{D_u} \right)^m \dots \dots \dots /12/ \end{aligned}$$

где n и m - показатели степени определяемые из зависимости

стей $B_{\delta} = f(P)$ и $A = f(P)$ по данным современных серий машин. Индекс "И" означает "исходные значения". Тогда стоимость активных материалов $C_{ам}$ может быть представлена в виде

$$C_{ам} = a_1 \left(\frac{D}{D_u} \right)^{n+1} + a_2 \left(\frac{D}{D_u} \right)^{2+m} + a_3 \left(\frac{D}{D_u} \right)^{-n+m} \quad /13/$$

где a_1, a_2, a_3 - соответственно исходные значения стоимости "ядра" машины / т.е. зубцов и меди активной части с изоляцией/, лобовой части и ярма при $\frac{D}{D_u} = 1$, т.е. при $\tau = \tau_u$. Оптимальное значение $\left(\frac{D}{D_u} \right)_{опт}$ получается при дифференцировании уравнения

$$\frac{\partial C_{ам}}{\partial \left(\frac{D}{D_u} \right)} = 0 \quad /14/$$

В результате некоторых выводов можно получить новое значение экономического $\beta = \frac{\tau}{\tau_u}$

$$\beta_3 = \beta_{30} \left(\frac{D}{D_u} \right)_{опт}^{3+n+m} \quad \dots /15/$$

где β_{30} - оптимальное значение экономического β , полученное из исходных величин.

Для крупных машин при $n \approx m \approx 0$ получим

$$\left(\frac{D}{D_u} \right) \approx 1, \quad \tau = \tau_u, \quad \beta_3 = \beta_{30} = 0,7$$

Для средних машин при $n \approx m \approx 0,5$ и принимая стоимость ярма равной $\frac{1}{4}$ стоимости "ядра" получим:

$$\left(\frac{D}{D_u} \right) \approx 1,1, \quad \beta_3 = 0,98$$

Для обеспечения желаемых эксплуатационных характеристик при проектировании машины задаются пределы для относи-

тельных параметров статора и ротора и величин взаимоиндукции X_m . Можно представить связь линейной нагрузки и параметров в виде

$$A = \sqrt{\frac{X_1 - X_{\delta}}{\varphi(\tau)}} \quad \dots \dots \dots /16/$$

где X_1 - реактивность рассеяния статора,

X_{δ} - дифференциальное рассеяние,

$\varphi(\tau)$ - некоторая функция от τ при выбранных значениях B_{δ} и j .

Зависимость $\frac{A}{A_u} = f\left(\frac{\tau}{\tau_u}\right)$ показывает, что существует максимальное значение линейной нагрузки, при которой возможно осуществление заданной величины $X_1 - X_{\delta}$. Для каждого другого значения A существует два значения τ . В одном случае это значение получается при малом τ за счет увеличения индуктивного сопротивления рассеяния пазовой части, а в другом случае - при больших значениях τ , за счет увеличения индуктивного сопротивления лобовой части.

IV

Четвертая глава посвящена экспериментальному исследованию работы асинхронного двигателя при переменной частоте. Выбраны асинхронные двигатели - АО 41-4 и АО 41-6 одинакового габарита, но с разным числом полюсов. Обе машины были испытаны с частотой 15 Гц - 120 Гц. Законом изменения частоты и напряжения: $\frac{U}{f} = \text{Const}$. Проводились следующие испытания: 1. опыт холостого хода.

2/опыт короткого замыкания и 3/ опыт при нагрузке.

В результате опытов получены изменения параметров и энергетических показателей машины при изменении частоты. Также получены экспериментальные зависимости потерь в стали и механических потерь от частоты.

Для тех же двигателей - АО 41-4 и АО 41-6 производились проверочные расчеты на ЦВМ в диапазоне частоты 15 Гц - 120 Гц по формулам, которые потом были использованы при расчете поиска оптимальных размеров частотно-управляемых двигателей.

В результате проверочного расчета также получены энергетические показатели, параметры машины и потери при различных частотах. Эти результаты близко совпадают друг с другом.

у

Пятая глава включает в себя программу для поиска оптимальных размеров частотно-управляемых асинхронных двигателей на ЦВМ по методике обхода узлов пространственной сетки. Режим работы двигателя следующий:

а/ $P = \text{const}$ от номинальной скорости n_n до максимальной скорости n_{max} ,

б/ $M = \text{const}$ от номинальной скорости n_n до минимальной скорости n_{min} .

Расчет поиска проводился на трех этапах: 1/номинальный режим, 2/ режим работы при меньшей скорости /3/ режим работы при большей скорости. Нахождение оптимальных размеров машины проводилось для номинальной скорости при заданном внешнем

диаметре D_a и заданной наружной длине l_a . Критерием оптимальности является максимум полезной мощности. Для режимов работы при меньшей скорости и при большей скорости находятся оптимальные величины напряжения, при которых машина удовлетворяет заданным техническим требованиям и допустимым ограничениям повышения температуры. При тех же внешних габаритах проводится поиск оптимума для разных чисел пар полюсов по критерию максимума полезной мощности.

В данной работе проводился расчет для чисел пар полюсов от $p = 1$ до $p = 4$. После сравнения всех вариантов от $p = 1$ до $p = 4$, можно выбрать оптимальную машину.

В качестве независимых переменных выбраны D и S_n - диаметр ротора и эффективное число проводников в пазу статора. Критерий оптимальности - P_{max} . Математическую задачу можно сформулировать следующим образом.

1/ Номинальный режим - необходимо найти значения переменных D и S_n , при которых функция этих переменных

$$P = P(D, S_n) \dots \dots \dots /17/$$

принимает максимально возможное значение при условии

$$\theta = f_1(D, S_n) \leq \theta_{\text{пред}} \dots \dots \dots /18/$$

$$K_M = f_2(D, S_n) \geq K_{M \text{ пред}} \dots \dots \dots /19/$$

$$K_H = f_3(D, S_n) \geq K_{H \text{ пред}} \dots \dots \dots /20/$$

$$K_T = f_4(D, S_n) \leq K_{T \text{ пред}} \dots \dots \dots /21/$$

$$T = f_5(D, S_n) \leq T_{\text{пред}} \dots \dots \dots /22/$$

где

$$D > 0$$

$$S_n > 0$$

здесь θ - превышение температуры обмотки статора,
 K_M - кратность максимального момента,
 K_{II} - кратность пускового момента,
 K_I - кратность пускового тока,
 T - скорость нарастания температуры в обмотке статора при пуске.

2/ Режим меньшей скорости -

$$P = \text{const.} = P_{0n} m_H \cdot \frac{f_{min}}{f_H}$$

$$D = \text{const.} / \text{из номинального режима} /$$

$$S_n = \text{const.} / \text{из номинального режима} /$$

Необходимо найти минимум напряжения U_L при котором машина должна удовлетворить условиям

$$\begin{aligned} \theta &= f_6(U) \leq \theta_{\text{пред}}; & K_M &= f_7(U) \geq K_{M\text{пред}} \\ K_{II} &= f_8(U) \geq K_{II\text{пред}}; & K_I &= f_9(U) \leq K_{I\text{пред}} \\ T &= f_{10}(U) \leq T_{\text{пред}}. \end{aligned} \quad /23/$$

где $U > 0$

U_L означает напряжение в режиме меньшей скорости.

3/ Режим большей скорости -

$$P = \text{const.} = P_{0n} m_H$$

$$D = \text{const.} \quad / \text{из номинального режима} /$$

$$S_n = \text{const.} \quad / \text{из номинального режима} /$$

Необходимо найти минимум напряжения U_H при котором машина должна удовлетворить условиям

$$\begin{aligned} \theta &= f_6(U) \leq \theta_{\text{пред}} \\ K_M &= f_7(U) \geq K_{M\text{пред}} \end{aligned} \quad /24/$$

Исходные величины напряжений U_L и U_H - при меньшей и большей скоростях были получены по закону /1/.

В таблице 1 показаны результаты расчетов одного варианта для номинального режима.

$$n_H = 1500 \text{ об/мин.}$$

Таблица 1

P	D _a	L _a	p	f	D	l	B _g	A	η	cosφ	K _M	K _n	g
кВт.	мм	мм		Гц	мм	мм	Гс	а/см					кг/кВт
10,25	291	271	1	25	172	142	6515	282	0,88	0,908	3,22	2,05	11,07
14,0	291	271	2	50	184	152	7801	265	0,909	0,876	2,85	1,46	8,29
13,75	291	271	3	75	192	155	8411	235	0,902	0,817	2,21	1,007	8,40
13,5	291	271	4	100	192	179	8474	228	0,891	0,719	1,80	1,001	9,67

g - удельный вес активных материалов.

Из таблицы можно видеть, что оптимальный вариант получается при $p = 2$, т.е. при $f = 50 \text{ Гц}$. Для этого варианта получены напряжения для нескольких точек в диапазоне изменения частоты, изложены на таблице 2.

Таблица 2

f	n	U _{расч.}	U
Гц	об/мин		по закону /1/
10	300	52	44
16,66	500	74	74
33,33	1000	146,6	146,6
50	1500	220	220
100	3000	312	312
150	4500	382	382

Расчеты для того же варианта проводились при изменении наружной длины. Результаты показаны на таблице-3.

$$n_H = 1500 \text{ об/мин}$$

Таблица 3

D_a мм	l_a мм	P кВт	p	$\cos \phi$	η	$\frac{D^2 l}{P}$	g кг/кВт
291	237	10,5	2	0,87	0,899	$3,7 \times 10^5$	8,79
291	271	14,0	2	0,875	0,909	$3,64 \times 10^5$	8,29
291	412	27,0	2	0,872	0,918	$3,58 \times 10^5$	6,98
291	646	51,75	2	0,878	0,927	$3,44 \times 10^5$	6,46
291	827	68,5	2	0,897	0,928	$3,8 \times 10^5$	6,57

Из таблицы 3 видно, что существует оптимальная наружная длина машины, при которой удельный вес машины получается минимумом. Если рассмотреть критерий минимума величины $\frac{D^2 l}{P}$, то оптимальная длина получается короче.

Результаты расчетов вариантов - $D_a = 291$, $n_H = 3000$, $n_{min} = 600$, $n_{max} = 6000$ показывают, что оптимальное число пар полюсов тоже получается равным 2. Оптимальная мощность растет, но не пропорционально росту номинальной скорости вращения.

В таком же плане проводились расчеты для вариантов

$$D_a = 182 \text{ мм и } D_a = 393 \text{ мм.}$$

Расчет варианта $D_a = 393$ мм в диапазоне изменения скорости 300 - 1500 - 4500 и с изменением наружной длины от 285 мм до 590 мм а показывает, что оптимальное число пар полюсов по-

лучается равным 3, т.е. при номинальной скорости 1500 оптимальная номинальная частота - 75 гц.

При расчете варианта $D_a = 182$ мм было необходимо уменьшить предельное значение индукции в воздушном зазоре до 6500 гс и использовать изоляцию класса F, чтобы удовлетворить условиям допустимого перегрева при меньшей и большей скорости. При этом потери в меди значительно увеличиваются из-за того, что лобовая часть машины сравнительно большая.

Вообще результаты расчетов показывают, что нужно проводить оптимизацию для каждого конкретного двигателя при заданном диапазоне изменения скорости.

В диссертационной работе предлагается произвести оптимизацию размеров машины при заданном внешнем диаметре машины и при заданной мощности. В таблице 4 показаны результаты вариантов $D_a = 291$ мм, $D_a = 393$ мм для $p = 2$.

Таблица 4

$D_a = 291 \text{ мм}$							$D_a = 393 \text{ мм}$						
l_a мм	P кВт	$\cos \phi$	η	$\frac{D^2 l}{P}$ $\times 10^5$	g кг/кВт		l_a мм	P кВт	$\cos \phi$	η	$\frac{D^2 l}{P}$ $\times 10^5$	g кг/кВт	
412	27	0,872	0,918	3,58	6,98		285	22,0	0,887	0,910	3,5	8,11	
646	51,75	0,878	0,927	3,44	6,46		371	40,0	0,900	0,929	3,44	7,21	
827	68,5	0,897	0,928	3,8	6,57		590	82,5	0,912	0,939	3,64	6,25	

Рассмотрение этих данных показывает, что можно получить одну и ту же мощность при разных габаритах. Например, из кривых, построенных по этим данным, определяем, что можно полу-

чить мощность $P = 40$ кВт при $D_a = 393$ мм, $l_a = 371$ мм, или при $D_a = 291$ мм, $l_a = 530$ мм. Лучший вариант из этих получается при сравнении результатов по каким-нибудь другим критериям, например по объему $\frac{D_a^2 l_a}{P}$, по удельному весу g по к.п.д. η и т.п. Анализ результатов для машины $P = 40$ кВт показывает, что лучший вариант есть $D_a = 393$ мм, $l_a = 371$ мм.

Указанный метод выгоден для оптимизации серий машины для производства, где выбор внешних диаметров определен по другим технологическим условиям.

З а к л ю ч е н и е

В заключение кратко изложим основные результаты диссертационной работы.

1. Рассмотрен вопрос режима работы асинхронного двигателя при переменной частоте и сделаны выводы в отношении проектирования.

2. Рассмотрены разные методы оптимального проектирования на ЦВМ и выбран метод обхода узлов пространственной сетки для оптимизации. В данной работе проводилось исследование для решения нескольких принципиальных вопросов при проектировании частотно-управляемых асинхронных двигателей. Поэтому поиск проводился в трех мерном пространстве, при котором выбранный метод оказался более пригодным.

3. При помощи аналитических зависимостей разработан общий приближенный метод определения оптимального числа полюсов при проектировании машины переменного тока при заданных внешних габаритах.

4. Разработан общий аналитический метод для определения оптимального отношения $\beta = \frac{r}{l}$ при заданных параметрах и при вариации удельных нагрузок магнитной индукции B_g , линейной нагрузки A и плотности тока j в статоре.

5. Создан алгоритм для поиска оптимальных размеров частотно-управляемых электродвигателей, сделана программа на ЦВМ ВЭСМ-3М и обработаны результаты расчетов. Получены оптимальные числа полюсов при заданном внешнем диаметре, найдена оптимальная возможность выбора наружной длины машины.

6. Получены законы изменения напряжения при частотном управлении, при которых машина удовлетворяет всем техническим требованиям и допустимым превышениям температуры.

7. Разработана методика для оптимизации серии асинхронных двигателей при строго заданных внешних диаметрах машины.

Такая оптимизация имеет существенное значение ввиду наличия международных рекомендаций по высоте вала машины.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. ПОСТНИКОВ И.М., НАГ С.К. К вопросу определения оптимального числа пар полюсов для транспортных машин переменного тока. Известия Вузов "Электромеханика", 1971, № 2.

2. ПОСТНИКОВ И.М., НАГ С.К. Поиск оптимальных размеров частотно-управляемых асинхронных двигателей. "Энергетика и электрификация" /в печати/.

Материалы диссертации докладывались на научном семинаре по проблемам статистической оптимизации многопараметрических систем /электрических машин/, Ереван, Цахкадзор, Октябрь, 1970. (ВНИИЭ).

БФ 04611. 9.03.71 г. Объем 1,25 п.л. Зак. 55.

Тираж 180 экз. Лаборатория фотоофсетной печати КПИ,

Брест-Литовский проспект, 39.