

## ВЫБОР МОДУЛЕЙ НЕЗАВИСИМОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Введение.** Широкое распространение регулируемых асинхронных электроприводов, обеспечивающих решение сложных технологических задач, существенное энерго- и ресурсосбережение, увеличение ресурса работы электротехнического и механического оборудования, автоматизацию технологических процессов, предопределяет необходимость их совершенствования. Одной из основных проблем является обеспечение соответственно используемой в асинхронном двигателе (АД) изоляции обмотки статора определенного класса нагревостойкости в заданном диапазоне регулирования и при заданных типе и величине нагрузки на валу АД требуемой температуры. В двигателях с широким регулированием частоты вращения самовентиляция часто оказывается недостаточно эффективной. В таких случаях необходимо понижать момент на валу двигателя, что не только нежелательно, но чаще всего и невозможно. Эффективность самоохлаждения снижается не только при уменьшении скорости вращения, но и при регулировании скорости вверх от номинальной, поскольку увеличивается нагрузка от собственного вентилятора. В регулируемых машинах применяют принудительную систему вентиляции, при которой вентилятор приводится во вращение посторонним вспомогательным двигателем с постоянной и не зависящей от режима работы охлаждаемой машины частотой вращения [1, 2, 3]. Установка независимой вентиляции на электродвигатель (например, реализация системы охлаждения IC416) в значительной степени расширяет диапазон регулирования скорости двигателя. Однако при выборе такого охлаждения целесообразно рассмотреть главные параметры независимой вентиляции с целью получения оптимального технического решения. Правильный выбор независимой вентиляции должен быть экономически обоснован (массогабаритностоимостные показатели) и обеспечить надежную и эффективную (допустимые температуры конструктивных частей двигателя и высокие энергетические показатели в процессе эксплуатации) работу АД в течение определенного ресурса времени. Для выбора системы охлаждения двигателя целесообразно проведение полного теплового расчета, в результате которого определяются температуры наиболее напряженных в тепловом отношении обмотки статора и подшипников. Снижение перегрева конструктивных частей машины при независимом охлаждении способствует увеличению срока службы двигателя.

В спецификациях всех крупных мировых производителей модуль независимого обдува заносится как дополнительная опция, при этом заказчику не надо рассчитывать величину воздушного потока, так как типы вентиляторов строго определены. Ряд европейских предприятий выпускают специализированные двигатели для частотного управления, не требующие применения вентиляторов независимого обдува, но при этом они имеют более сложную форму поверхности корпуса и увеличенные габаритные размеры.

При независимом охлаждении должны быть разработаны схемы цепи питания и управления вентиляторами принудительного обдува, которые должны включаться одновременно с охлаждаемым двигателем и отключаться через 3-5 минут после его остановки. Вентиляторы независимого обдува могут быть установлены по оси двигателя (с задней части) или сбоку на фиксированное посадочное отверстие (в виде «наездника»). В любом случае воздушный поток, создаваемый опциональным независимым вентилятором, рассчитывается производителем.

**Постановка задач исследования.** Эффективность систем вентиляции как само, так и независимого охлаждения во многом определяется характеристиками вентилятора. В тоже время к параметрам, характеризующим независимую вентиляцию, следует отнести также частоту вращения и мощность приводного двигателя, стоимость, вес и габариты модуля независимого охлаждения.

Характер зависимости превышения температуры обмотки статора АД с самоохлаждением в диапазоне регулирования зависит от типа и величины нагрузки. Нагрузка на валу двигателя может быть различная по характеру (постоянство момента нагрузки - лифтовая, постоянство мощности нагрузки - тяговая, степенная зависимость момента от частоты вращения - вентиляторная). При тяговой нагрузке максимальных значений превышение достигает в нижней точке диапазона регулирования, при вентиляторной - в верхней. Для лифтовой нагрузки превышение может иметь место, как в нижней, так и верхней точках диапазона регулирования. В [4, 5] представлены типовые характеристики тепловой нагрузочной способности (ТНС) двигателей серии 4А закрытого исполнения с самоохлаждением для соединения обмотки статора «звездой» и стандартных настройках частотного преобразователя, определяемых значениями сетевых напряжения и частоты. Изменение какого-либо из вышперечисленных факторов, а также применение систем принудительного охлаждения, приведет к изменению характеристик ТНС. В [6] представлены аналитические выражения, позволяющие определить превышение температуры АД, эксплуатируемых в широком диапазоне частоты вращения.

При выборе системы охлаждения осуществляется расчет значений температур конструктивных элементов АД, и при условии не превышения ими температурных ограничений, выполняется выбор, когда в качестве критериев могут использоваться массы, габариты, стоимости двигателя и привода в целом, среднедиапазонные

приведенные затраты на изготовление и эксплуатацию ПЗ<sub>сд</sub>, среднедиапазонные энергетические показатели (КПД -  $\eta_{сд}$  и коэффициент мощности  $\cos \varphi_{сд}$ ), либо может быть применен обобщенный критерий, учитывающий в качестве составляющих вышеперечисленные критерии. Результаты выбора изменяются при различных используемых критериях или при различных их составляющих в обобщенном критерии, а также зависят от задаваемых коэффициентов значимости этих составляющих. Если в качестве критерия выбора использовать такой энергетический показатель, как среднедиапазонный КПД двигателя и, соответственно, электропривода, будет обеспечиваться энергосберегающая эксплуатация двигателя.

При независимом охлаждении механические потери охлаждаемого двигателя существенно снижаются. В тоже время увеличивается потребляемая приводом мощность, так как она включает в себя мощность, потребляемую двигателем независимого вентилятора.

Выбор системы охлаждения возможен при наличии соответствующего программного обеспечения [7]. Программа основана на системных принципах, позволяющих учесть взаимовлияние преобразователей (при необходимости согласующих трансформаторов и редуктора между двигателем и нагрузкой) и реализовать комплексный анализ работы АД, на основе которого рассматриваются все наиболее важные аспекты функционирования двигателя.

**Материалы исследования.** С целью ограничения исследований далее рассмотрен привод с наиболее распространенным транзисторным преобразователем частоты с автономным инвертором напряжения и ШИМ регулированием. Преобразователь имел стандартные номинальные настройки ( $U_{ном} = 380$  В и  $f_{ном} = 50$  Гц) и частоту модуляции 4 кГц. Рассматривался наиболее распространенный закон частотного управления  $U/f = const$ . Бустерное напряжение отсутствовало. В качестве нагрузки использовалась "лифтовая нагрузка" с неизменным моментом 75 Н·м. Рассматривался диапазон регулирования 250 – 1700 об/мин. Исследовался двигатель 4А160М4У3 с соединением обмоток статора звездой. При этом двигатель работал в двух диапазонах: до 50 Гц с номинальным потоком и свыше 50 Гц с ослабленным потоком.

Исследуемые модули независимого охлаждения предлагаются фирмой «Kurt Maier Motor-Press GmbH», Германия.

Были проанализированы следующие варианты систем охлаждения:

1. Самоохлаждение; количество вырабатываемого воздуха: 250 об/мин –  $Q_B = 0,025$  м<sup>3</sup>/с, 1700 об/мин –  $Q_B = 0,220$  м<sup>3</sup>/с.

2. Независимое охлаждение с двухполюсным приводным двигателем (FBI 160 S-RBK); количество вырабатываемого воздуха:  $Q_B = 0,526$  м<sup>3</sup>/с;

3. Независимое охлаждение с четырехполюсным приводным двигателем (FBI 160-4 RBK); количество вырабатываемого воздуха:  $Q_B = 0,405$  м<sup>3</sup>/с.

Технические показатели (массогабаритно-стоимостные, КПД и другие) преобразователей и модулей независимого охлаждения, а также реальные размеры вентиляторов определены техническим заданием.

В табл. 1 даются среднедиапазонные приведенные затраты, среднедиапазонные энергетические показатели, массогабаритно-стоимостные показатели АД и РЭП и некоторые функциональные показатели.

Исследования выполнены для задачи выбора системы принудительного охлаждения для требуемого диапазона регулирования.

На рис. 1 представлены зависимости изменения температуры перегрева обмотки статора для трех вариантов. Рассматриваемые варианты с принудительным охлаждением удовлетворяют температурному ограничению (принято 150 °С).

Автоматизированный выбор системы охлаждения с помощью программы DIMAS Drive проводился по обобщенному критерию, результаты которого представляются в виде экспертных оценок в баллах [7]. При автоматизированном выборе эти экспертные оценки

Таблица 1 – Сравнение показателей при работе в заданном диапазоне регулирования

Показатели \ Двигатели	Самоохлаждение	FBI 160 S-RBK	FBI 160-4 RBK
$PZ_{сд}$ АД, тыс. у.е.	2,045	2,083	2,092
$\eta_{сд}$ АД, %	82,775	83,299	83,299
$\cos \varphi_{сд}$ АД, о.е.	0,88408	0,88408	0,88408
Масса АД, кг	119,35	124,46	130,26
Стоимость АД, у.е.	644,34	681,45	686,45
Объем АД, дм <sup>3</sup>	9,62	10,62	11,12
$PZ_{сд}$ РЭП, тыс. у.е.	4,603	4,642	4,651
$\eta_{сд}$ РЭП, %	81,152	81,655	81,655
Масса РЭП, кг	134,35	139,46	145,26
Стоимость РЭП, тыс. у.е.	2,144	2,181	2,186
Объем РЭП, дм <sup>3</sup>	36,62	37,62	38,12

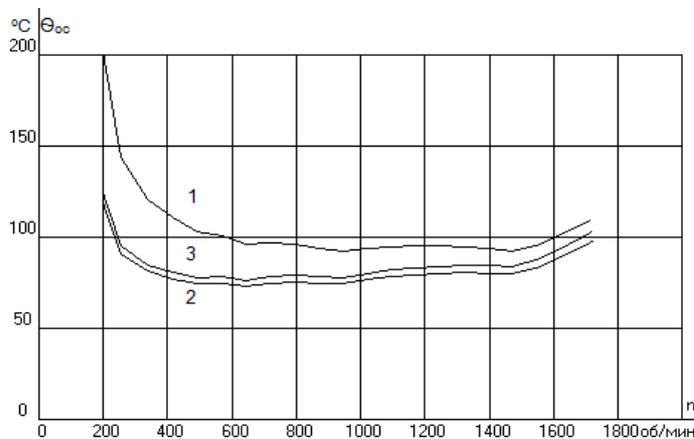


Рис. 1 – Зависимости изменения температуры перегрева обмотки статора при различных системах вентиляции: 1 - самоохлаждение; 2 - принудительное охлаждение FBI 160 S-RBK; 3 - принудительное охлаждение FBI 160-4 RBK.

выбираемого АД формируется следующим образом: для средненизоточных энергетических критериев АД и РЭП КПД ( $\eta_{сд}$ ) и коэффициента мощности ( $\cos\varphi_{сд}$ ) – у двигателя, который имеет наибольшие показатели из нескольких двигателей, участвующих в выборе, они принимаются за 100 баллов, для остальных берётся процент от принятого за 100 баллов; для стоимостных, габаритных, весовых критериев АД и РЭП, а также критерия средненизоточных приведенных затрат АД и РЭП  $ПЗ_{сд}$  – берётся разность большего и текущего значения и определяется отношение к большему значению. Суммарная результирующая оценка является определяющей при выборе.

Результаты автоматизированного выбора получены при максимальных коэффициентах значимости всех составляющих обобщенного критерия (табл. 2).

Программа DIMASDrive позволяет использовать при автоматизированном выборе системы независимого охлаждения как ограничения тепловые показатели (температуры обмотки статора и подшипников) и уровень вентиляционного шума. Исходя из табл.2 для данной задачи с обеспечением необходимой температуры перегрева обмотки статора в требуемом диапазоне регулирования с конкретной “лифтовой” нагрузкой предпочтительней модуль независимого охлаждения FBI 160 S-RBK. Аналогичным образом может быть выполнен выбор при других постановках задачи выбора, для разнообразных систем регулируемого привода и нагрузочных механизмов.

Таблица 2 – Результаты автоматизированного выбора  
(значения приведены в баллах)

Показатели \ Двигатели	Самоохлаждение	FBI 160 S-RBK	FBI 160-4 RBK
$ПЗ_{сд}$ АД	2,219	0,399	0
$\eta_{сд}$ АД	99,3703	100	100
$\cos\varphi_{сд}$ АД	100	100	100
Масса АД	8,38	4,45	0
Стоимость АД	6,13	0,73	0
Объем АД	9,58	4,7	0
$ПЗ_{сд}$ РЭП	1,019	0,18	0
$\eta_{сд}$ РЭП	99,384	100	100
Масса РЭП	7,513	3,993	0
Стоимость РЭП	1,926	0,229	0
Объем РЭП	2,708	1,328	0
Результат выбора (балл)	438,23	416,01	400

#### Выводы.

1. При выборе систем принудительного охлаждения АД для различных регулируемых электроприводов используются энергетические, массогабаритные и стоимостные критерии. Выбор осуществляется после проверки по результатам теплового расчета, удовлетворяют ли соответствующие температуры конструктивных частей АД задаваемым ограничениям.

2. Используемые модули независимого охлаждения обеспечивают снижение температуры перегрева обмотки статора в начальной части заданного диапазона регулирования, но при значительных частотах вращения температура обмотки статора приближается к температуре при самоохлаждении и в некоторых случаях превосходит ее, поскольку производительность вентилятора самоохлаждения увеличивается.

3. Описанный механизм выбора систем принудительного охлаждения АД реализуется при использовании программы DIMASDrive.

#### Литература.

1. Зайцев А.М., Захаров А.В., Кобелев А.С., Кругликов О.В. Новая серия частотно-регулируемых асинхронных двигателей общего применения разработки ОАО «НИПТИЭМ» // Электротехника. – 2008. – №9. – С. 2 – 10.

2. Вершинин А.В., Драгомиров М.С., Зайцев А.М., Кругликов О.В. Разработка специальных конструктивных исполнений частотно-регулируемых асинхронных электродвигателей // Электротехника. – 2008. – №11. – С. 46 – 49.

3. Петрушин В.С., Якимец А.М., Каленик Б.В. К вопросу выбора асинхронных двигателей для систем регулируемого электропривода // Вісник Кременчуцького державного університету №3/2010 (62). – Частина 2. – С. 74 – 78.

4. Петрушин В.С. Поэтапный выбор серийных асинхронных двигателей для систем частотного электропривода // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. – 2002. – Частина 3. – С. 41 – 44.

5. Петрушин В.С. Учебное пособие "Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе" // Одесса, Наука и техника, 2006, 320 с.

6. Захаров А.В., Кобелев А.С., Кудряшов С.В. Определение превышений температуры и допустимых нагрузок закрытых асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, эксплуатируемых в широком диапазоне частоты вращения // Электричество. – 2010. – №12. – С. 35 – 42.

7. Петрушин В.С., Рябинин С.В., Якимец А.М. Программный продукт „DIMASDrive”. Программа анализа работы, выбора и проектирования асинхронных короткозамкнутых двигателей систем регулируемого электропривода (свидетельство о регистрации программы ПА№4065). Киев: Министерство образования и науки Украины. Государственный департамент интеллектуальной собственности, 26.03.2001.