

## **ТРЕХФАЗНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ИСПОЛНЕНИЙ ДЛЯ КОМПЛЕКТНЫХ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ПРИВОДОВ.**

**ВАСИЛЬЧЕНКО Виктор Александрович**, начальник производства ООО «ВЭМЗ-Спектр», инженер-электромеханик, факультет Автоматики и электромеханики Воронежского политехнического института, 1985 год.

**ВЕРШИНИН Андрей Валентинович**, ведущий конструктор ОАО «НИПТИЭМ», инженер-электромеханик, Электротехнический факультет Кировского политехнического института, 1984 год.

**ЗАЙЦЕВ Андрей Михайлович**, начальник бюро ОАО «НИПТИЭМ», инженер-электромеханик, Электромеханический факультет Львовского политехнического института, 1976 год.

**СИЖАНОВ Илья Сергеевич**, инженер-конструктор ОАО «НИПТИЭМ», инженер-механик, Автотранспортный факультет Владимирского государственного университета, 1997 год.

*Обозначены области применения современных частотно-регулируемых электроприводов, указаны основные заказчики такого оборудования. Рассмотрены вопросы разработки специальных конструктивных исполнений трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором для частотно-регулируемых электроприводов, представлен анализ конструкций, приведены основные технические характеристики таких двигателей.*

Производство компактных интеллектуальных преобразователей частоты, предназначенных для управления асинхронными электродвигателями, освоено многими зарубежными компаниями. В России более 20 крупных зарубежных фирм-производителей предлагают свои преобразователи, выполненные с использованием современных прогрессивных технологий в области цифровой электроники.

Однако остается основной вопрос – отсутствие исполнительного, головного механизма частотного привода – электродвигателя. Обычный асинхронный электродвигатель общепромышленного назначения не всегда может быть использован для работы в режиме частотного управления. Необходимо обязательное изменение конструктивной основы базового электродвигателя с максимальной унификацией основных конструктивных элементов. Это требует предварительных конструкторских разработок и экспериментальных исследований.

Основное направление применения комплектного частотно-регулируемого электропривода (ЧРЭП) – замена приводов на базе двигателей постоянного тока. Это в основном машиностроение, металлургическая, химическая, пищевая, стекольная, целлюлозно-бумажная и текстильная промышленности.

На данное время предприятиями группы компаний ВЭМЗ установлено более 1000 комплектных приводов на базе асинхронных электродвигателей специальных конструктивных исполнений в качестве приводов подач и приводов главного движения металлорежущих станков: от двухкоординатных токарных до восьмикоординатных карусельных. В основном это станки нормального класса точности, подвергнутые модернизации. Диапазон мощностей установленных приводов – от 0,75 до 160 кВт. Точность станков, в зависимости от применяемых датчиков обратной связи и состояния механической части, составила от  $\pm 1$  до  $\pm 5$  мкм “по электронике” и от 0.003 до 0.20 мм по обработке.

В настоящее время нашими постоянными партнерами по внедрению комплектного ЧРЭП в станочном оборудовании являются: ОАО «САВМА», ОАО «ЭНИМС» г. Москва, группа компаний «СЕДИН» г. Краснодар, ОАО

«КАМАЗ», ОАО «Ивановский Завод Тяжелого Станкостроения», ООО «Сервис-СТМ», ООО «Владимирский Завод Токарных Станков», ОАО «САСТА», ОАО «Коломенский Завод Тяжелых станков», ОАО «Рязанский станкостроительный завод», «Минский Завод Октябрьской Революции», ОАО «Орловское ЦТО», ОАО «Выксунский Металлургический завод» г. Выкса, ОАО «Тяжстанкогидропресс» г. Новосибирск, ОАО «Красный пролетарий» и другие предприятия этой отрасли.

Второе направление применения ЧРЭП – энергосбережение. По статистике более 60% разнообразных механизмов, работающих на нашей планете, используют асинхронные электродвигатели, которые потребляют почти 30% всей электроэнергии, вырабатываемой в мире. Поэтому наиболее рациональным использованием ЧРЭП на базе преобразователей частоты и трехфазных асинхронных двигателей специальных конструктивных исполнений являются энерго-ресурсо-сберегающие системы. В приводах с вентиляторной нагрузкой, к которым относятся центробежные насосы, вентиляторы, воздуходувки потребление электроэнергии зависит от скорости вращения исполнительного органа. Наибольшего эффекта в таких системах можно достичь при изменении частоты вращения электродвигателя посредством частотного регулирования. Например, КПД насоса и электродвигателя с изменением расхода практически не снижается, но снижается производительность насоса при сохранении необходимого напора, поэтому существенно снижаются удельные расходы электроэнергии. Таким образом, применение преобразователей частоты позволяет не только оптимизировать работу асинхронных электродвигателей и резко увеличить ресурс их работы, но и реально экономить электроэнергию.

Сейчас поставленное предприятиями группы компаний ВЭМЗ оборудование успешно работает на объектах теплоэнергетики и ЖКХ г. Владимира и Владимирской обл., в г. Нижнем Новгороде и Нижегородской обл., в Ставропольском крае, г. Костроме и Костромской обл., Ивановской обл., в городах Брянске, Перми, Новокузнецке, Екатеринбурге, Омске, Оренбурге, Кемерове, Твери, Кирове, Иркутске, Нефтеюганске и многих

других регионах РФ. Более 100 преобразователей частоты мощностью от 5,5 кВт до 75 кВт поставлены предприятию «Мостеплоэнергоремонт» для модернизации ряда ЦТП и РТС г. Москвы.

Опыт работы в этой области позволяет утверждать, что интерес к энергосберегающему оборудованию в последние годы возрос, и частотно-регулируемый электропривод стал интересен предприятиям ЖКХ многих городов Российской Федерации, предприятиям энергетики и нефтехимической промышленности. Сейчас реально можно говорить о полутора - двухлетнем сроке окупаемости, но есть объекты, где даже при сегодняшних ценах срок окупаемости оборудования составляет менее года.

В настоящее время предприятиями группы компаний «ВЭМЗ» налажена разработка и производство под заказ трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором специальных конструктивных исполнений для ЧРЭП. Эти работы были начаты в 2000 году.

Разработка и изготовление асинхронных двигателей для ЧРЭП выполняется с учетом требований конкретного заказчика, так как каждый заказ имеет свои особенности. Это обстоятельство затрудняет разработку полной и постоянной конструкторской документации, хотя за это время и отработаны определенные, постоянно используемые, основные конструктивные исполнения.

В настоящее время разработка КД на двигатели для ЧРЭП происходит по следующей схеме:

- анализ требований, изложенных в заказе, их уточнение и согласование с заказчиком;
- разработка временной КД на изготовление базового двигателя;
- разработка временной КД на изготовление двигателя для ЧРЭП.

Ежемесячно разрабатывается около 25 комплектов временной КД на двигатели для ЧРЭП, каждый комплект содержит 12 – 15 листов чертежей. Выполнение такого объема работ стало возможным только благодаря широкому использованию в работе комплекса САПР Pro/ENGINEER.

В 2003 году было разработано и изготовлено 826 двигателей для ЧРЭП, в 2004 году – 1334 двигателя. На рисунке 1 представлено распределение числа изготовленных двигателей по высотам оси вращения.

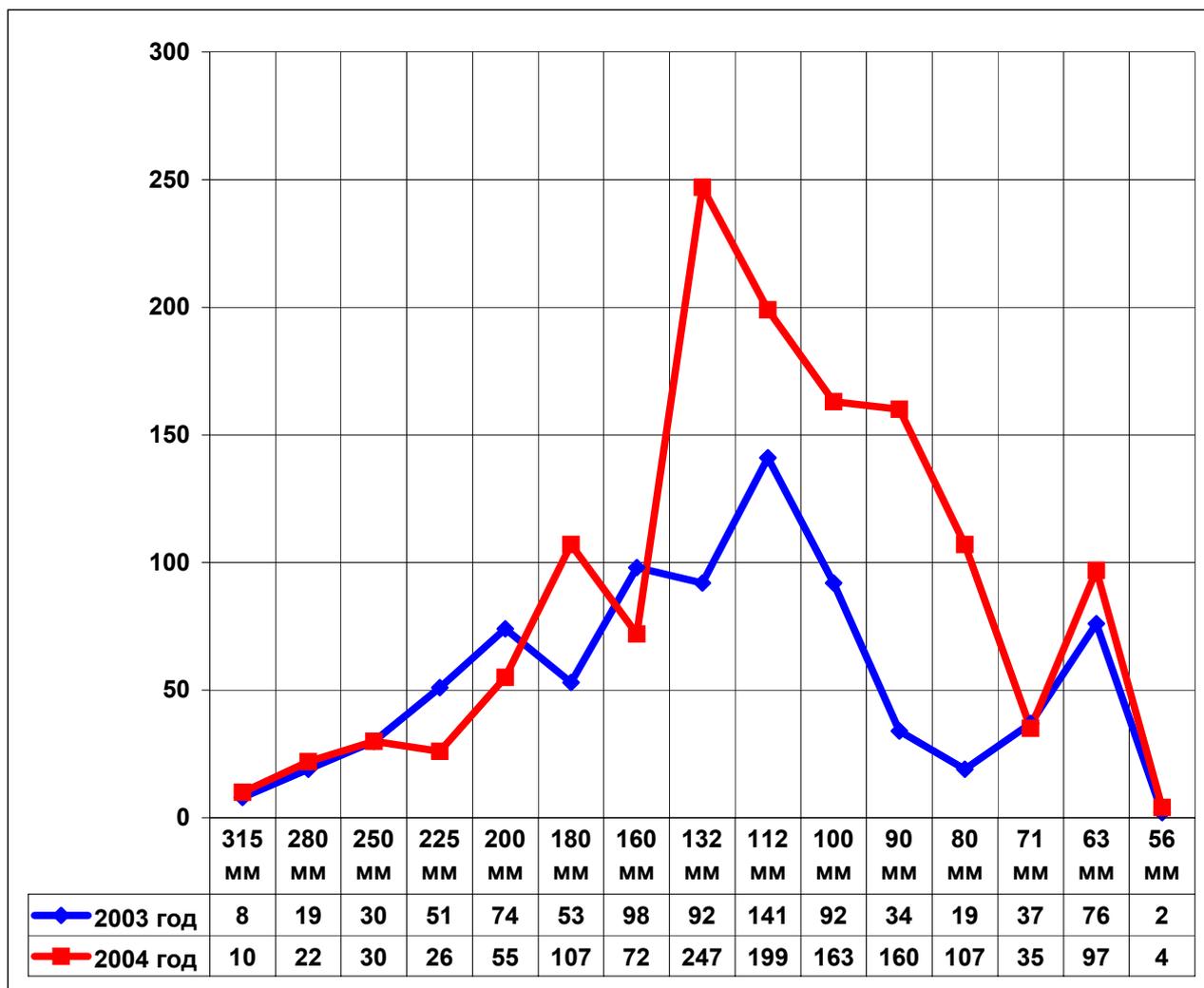


Рис. 1. Диаграмма распределения количества изготовленных в 2003 и 2004 годах двигателей для ЧРЭП по высотам оси вращения.

Двигатели разрабатываются и изготавливаются в следующих основных конструктивных исполнениях:

- специальное исполнение асинхронного трехфазного короткозамкнутого двигателя для ЧРЭП без дополнительных элементов (группа 1А);
- асинхронный трехфазный короткозамкнутый двигатель с независимой системой охлаждения (группа 1В);
- асинхронный трехфазный короткозамкнутый двигатель с пристроенным датчиком обратной связи, с независимой системой охлаждения (группа 2В);

○ асинхронный трехфазный короткозамкнутый двигатель с пристроенным электромагнитным тормозом и обдувом наружной поверхности вентилятором, установленным на валу двигателя (группа 3А);

○ асинхронный трехфазный короткозамкнутый двигатель с пристроенным электромагнитным тормозом, с независимой системой охлаждения (группа 3В);

○ асинхронный трехфазный короткозамкнутый двигатель с пристроенным электромагнитным тормозом, с пристроенным датчиком обратной связи, с независимой системой охлаждения (группа 4В).

По согласованию с заказчиком двигателя могут изготавливаться в других конструктивных исполнениях.

Распределение двигателей для ЧРЭП, изготовленных по заказам в 2003 и 2004 годах, по группам конструктивных исполнений и высотам оси вращения представлено в таблице 1.

Таблица 1.

Высота оси вращения, мм	2003 год				2004 год			
	Группа двигателей							
	1А, 1В	2В	3А, 3В	4В	1А, 1В	2В	3А, 3В	4В
56	2	-	-	-	-	-	4	-
63	65	2	7	-	93	-	2	-
71	13	15	1	2	11	3	19	-
80	10	3	5	1	17	63	22	5
90	8	17	8	-	140	5	11	4
100	48	36	8	-	34	112	4	13
112	21	19	48	53	6	31	48	114
132	18	48	4	12	80	120	27	20
160	29	57	4	4	8	60	3	1
180	34	16	-	1	64	39	1	3
200	32	35	6	-	13	36	6	-
225	42	8	-	-	11	12	3	-
250	17	11	-	-	8	22	-	-
280	10	8	-	-	9	13	-	-
315	3	5	-	-	5	5	-	-
Всего	352	280	91	73	499	521	150	160
%	44.2	35.2	11.4	9.2	37.5	39.2	11.3	12.0

Из приведенных в таблице 1 данных видно, что наибольшее количество двигателей (около 80 %) – это двигатели для ЧРЭП с независимой системой вентиляции или с самообдувом, с датчиком обратной связи или без него. Основное назначение двигателей таких конструктивных исполнений – ЧРЭП для энергосберегающих систем и привода с небольшим диапазоном регулирования частоты вращения.

Для обозначения двигателей для ЧРЭП применяется условное обозначение, которое состоит из условного обозначения базового двигателя и цифрового кода специального конструктивного исполнения. Цифровой код специального конструктивного исполнения двигателей состоит из четырех цифр:

**первая цифра** – кодировка конструктивного исполнения по способу охлаждения двигателя по ГОСТ20459 (МЭК 60034-6).

**0** - IS 0141 закрытая машина с внутренней самовентиляцией и обдувом наружной поверхности вентилятором, установленным на валу двигателя;

**1** - IS 0641 закрытая машина с внутренней самовентиляцией и обдувом наружной поверхности электровентилятором, установленным на двигателе; питание электровентилятора осуществляется от сети однофазного переменного тока;

**2** - IS 0641 закрытая машина с внутренней самовентиляцией и обдувом наружной поверхности электровентилятором, установленным на двигателе; питание электровентилятора осуществляется от сети трехфазного переменного тока;

**3** - IS 0641 закрытая машина с внутренней самовентиляцией и обдувом наружной поверхности вентилятором с приводом от отдельного трехфазного асинхронного двигателя, пристроенного на обдуваемом двигателе.

**9** - IS 0041 закрытая машина с внутренней самовентиляцией и естественным (конвекционным) охлаждением наружной поверхности.

**вторая и третья цифры** - кодировка типа и конструктивного исполнения датчика обратной связи в зависимости от числа импульсов выходного сигнала, его формы, напряжения питания и класса точности.

Исполнение двигателя без датчика - **00**.

**четвертая цифра** - кодировка типа и конструктивного исполнения пристроенного электромагнитного тормоза:

**0** - двигатель без тормоза;

**1** - двигатель с пристроенным тормозом фирмы «КЕВ» соответствующего типоразмера (типоразмер определяется в зависимости от величины номинального момента двигателя);

**2** - двигатель с пристроенным тормозом фирмы «КЕВ» соответствующего типоразмера и устройством для ручного растормаживания.

Двигатели изготавливаются на номинальные мощности от 0,25 до 315 кВт на номинальное напряжение 380 В при частоте 50 Гц. Соединение фаз –  $\Delta$  (треугольник) или  $Y$  (звезда). По требованию заказчика двигатели могут изготавливаться на другие номинальные напряжения.

Двигатели изготавливаются на синхронные частоты вращения 500, 600, 750, 1000, 1500 и 3000 об/мин.

В составе комплектных ЧРЭП двигатели эксплуатируются при питании от преобразователей частоты трехфазной сети переменного тока. Диапазон изменения частоты питания – от 0 до 300 Гц, при этом частота вращения не должна превышать 4500 об/мин для двигателей высоты оси вращения до 225 мм и 3600 об/мин для двигателей высоты оси вращения 250 мм и выше. Частота вращения выше приведенных значений устанавливаются на конкретные двигатели.

Номинальный режим работы двигателей - продолжительный (S1) по ГОСТ 28173 (МЭК 60034-1). Допускается работа двигателей в режимах S2-S8, при этом допустимые нагрузки и ток определяются классом нагревостойкости изоляционной системы двигателей и обеспечиваются при регулировании системой управления.

Номинальные параметры двигателей (мощность, номинальная частота вращения, коэффициент мощности, коэффициент полезного действия, перегрузочная способность, динамический момент инерции ротора) соответствуют параметрам, указанным в технических каталогах для базовых двигателей соответствующих габаритов, частоты вращения и класса точности.

Средний уровень звукового давления, измеренный по ГОСТ 16372, при питании от источника синусоидального переменного тока номинальной частоты и номинального напряжения не превышает значений, указанных в технических каталогах для базовых двигателей соответствующих габаритов и частоты вращения. При питании от преобразователя частоты средний уровень звукового давления двигателей не превышает указанных значений более чем:

- на + 5 дБ(А) - при частоте вращения, соответствующей синхронной частоте вращения базового двигателя;
- на + 10 дБ(А) - при максимальной частоте вращения.

Среднеквадратическое значение вибрационной скорости двигателей, измеренное в соответствии с ГОСТ 20815, при питании от источника синусоидального переменного тока номинальной частоты и номинального напряжения соответствует значениям категории R.

При питании от преобразователя частоты и регулировании частоты вращения среднеквадратическое значение вибрационной скорости двигателей не превышает значений, указанных в таблице 2.

Таблица 2.

Категория по ГОСТ 20815	Частота вращения, об/мин	$V_{эфф.м}$ , мм/с, для высоты оси вращения, мм			
		56 - 71	80 - 132	160 - 225	250 - 315
<b>R</b>	$600 \leq n \leq 1800$	0.71	0.71	1.12	1.8
	$1800 < n < 4500$	0.71	1.12	1.8	2.8
<b>S</b>	$600 \leq n \leq 1800$	0.45	0.45	0.71	1.12
	$1800 < n < 4500$	0.45	0.71	1.12	1.8

Как правило, двигатели имеют следующие климатические исполнения по ГОСТ 15150 - У2, У3 и Т2.

По устойчивости к воздействию климатических факторов внешней среды двигатели соответствуют требованиям ГОСТ 15150 и ГОСТ 15543.1. При этом нижнее значение рабочей температуры устанавливается с учетом ограничений для пристраиваемых дополнительных элементов.

Степень защиты двигателей по ГОСТ17494:

- климатических исполнений У2 и Т2 – не ниже IP54,
- климатических исполнений У3 – не ниже IP44.

По стойкости к механическим воздействиям внешней среды двигатели соответствуют группе М8 по ГОСТ 17516.1.

Двигатели имеют изоляцию класса нагревостойкости F по ГОСТ 8865 с двукратной пропиткой обмотки статора. Обмотка статоров выполняется из эмалированных обмоточных проводов марки ПЭТД-180 ТУ16-705.264-82.

Как правило, двигатели имеют встроенный в обмотку статора датчик температурной защиты. Цепь датчика состоит из трех последовательно соединенных и установленных в лобовые части обмотки статора терморезисторов с положительным температурным коэффициентом сопротивления, температура срабатывания - 145 °С.

Двигатели имеют вводное устройство К-3-II по ГОСТ Р 51689-2000. Вводное устройство имеет панель с шестью контактными болтами для подключения обмотки статора и двумя контактными болтами для подключения цепи датчика температурной защиты либо панель с тремя контактными болтами для подключения обмотки статора и отдельную клеммную панель для подключения цепи датчика температурной защиты. На корпусе вводного устройства располагаются штуцера для ввода в него кабелей датчика обратной связи и питания пристроенного электромагнитного тормоза.

Конструктивные исполнения двигателей по способу монтажа - по ГОСТ 2479 с одним рабочим концом вала:

- IM1081, IM2081 для двигателей 56 – 250 мм.
- IM1001, IM2001 для двигателей 280 – 315 мм.

- IM3081 для двигателей 56 – 180 мм.
- IM3011, IM3031 для двигателей 200 – 250 мм.

Выполнение второго конца вала возможно только для некоторых конструктивных исполнений.

На рис. 1, 2, 3 и 4 показан внешний вид ряда двигателей специальных конструктивных исполнений.

Независимая система вентиляции в двигателях для ЧРЭП применяется при эксплуатации на частотах вращения ниже 500 об/мин, когда работа вентилятора, установленного на валу двигателя, неэффективна и при эксплуатации двигателя на частотах вращения выше 3000 об/мин, когда вентилятор, установленный на валу двигателя создает значительные механические потери и значительно увеличивает шум.

Обдув осуществляется электровентилятором, имеющим осевую крыльчатку, либо отдельным асинхронным двигателем с установленной на нем осевой крыльчаткой. Электровентилятор и отдельный асинхронный двигатель устанавливаются на кожухе двигателя.

Питание электровентилятора осуществляется от сети однофазного переменного тока или от сети трехфазного переменного тока. Электровентилятор имеет отдельный разъем на кожухе двигателя. Степень защиты электровентиляторов IP44. Диапазон рабочих температур от  $-30^{\circ}$  до  $+50^{\circ}$ .

Подбор электровентиляторов производится по объему воздуха исходя из суммарных потерь в двигателе в самом жестком режиме работы.

В качестве датчика обратной связи применяются преобразователи угловых перемещений производства СКБ ИС г. Санкт-Петербург типа ЛИР-158А и ЛИР-276А, имеющие большой набор вариантов по числу периодов сигнала на оборот вала, форме сигнала, напряжению питания и классу точности.

Степень защиты ЛИР-158А и ЛИР-276А - IP64, интервал рабочих температур от  $-40^{\circ}$  до  $+100^{\circ}$ .

Преобразователь угловых перемещений ЛИР-158А устанавливается и закрепляется на заднем щите или наружной крышке подшипника через

адаптера, сочленение вала двигателя и вала датчика производится с помощью муфты ЛИР-801-10-6.

Преобразователь угловых перемещений ЛИР-276А имеет жесткую посадку ротора на вал двигателя, закрепление корпуса осуществляется через пружинные элементы.

В качестве тормозов применяются электромагнитные пружинные тормоза с двумя плоскостями для сухого трения COMBISTOP 08 или COMBISTOP 38 фирмы «КЕВ».

Тормоза предназначены для фиксации вала электродвигателя при его отключении от питающей сети и устанавливаются на задний щит двигателя. Степень защиты тормоза IP44. Диапазон рабочих температур от  $-45^{\circ}$  до  $+50^{\circ}$ . Питание тормоза осуществляется от сети постоянного тока напряжением 24, 105, 180, 205 В. либо от однофазной сети переменного тока, через выпрямитель.

Разработка специальных конструктивных исполнений трехфазных асинхронных короткозамкнутых двигателей для ЧРЭП весьма актуальна и оправдана как с экономической, так и технической точек зрения.

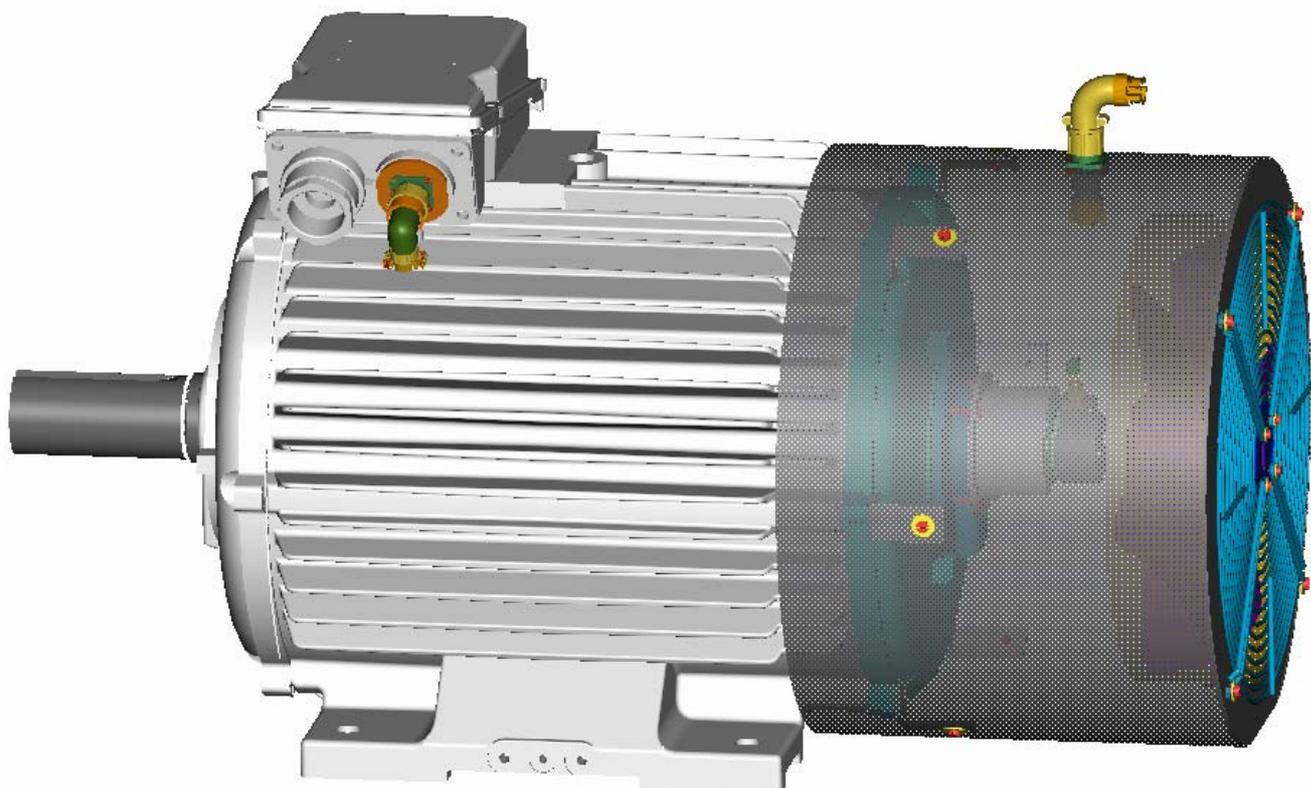


Рисунок 1

Внешний вид двигателя 5A225 –2310, IM1081.

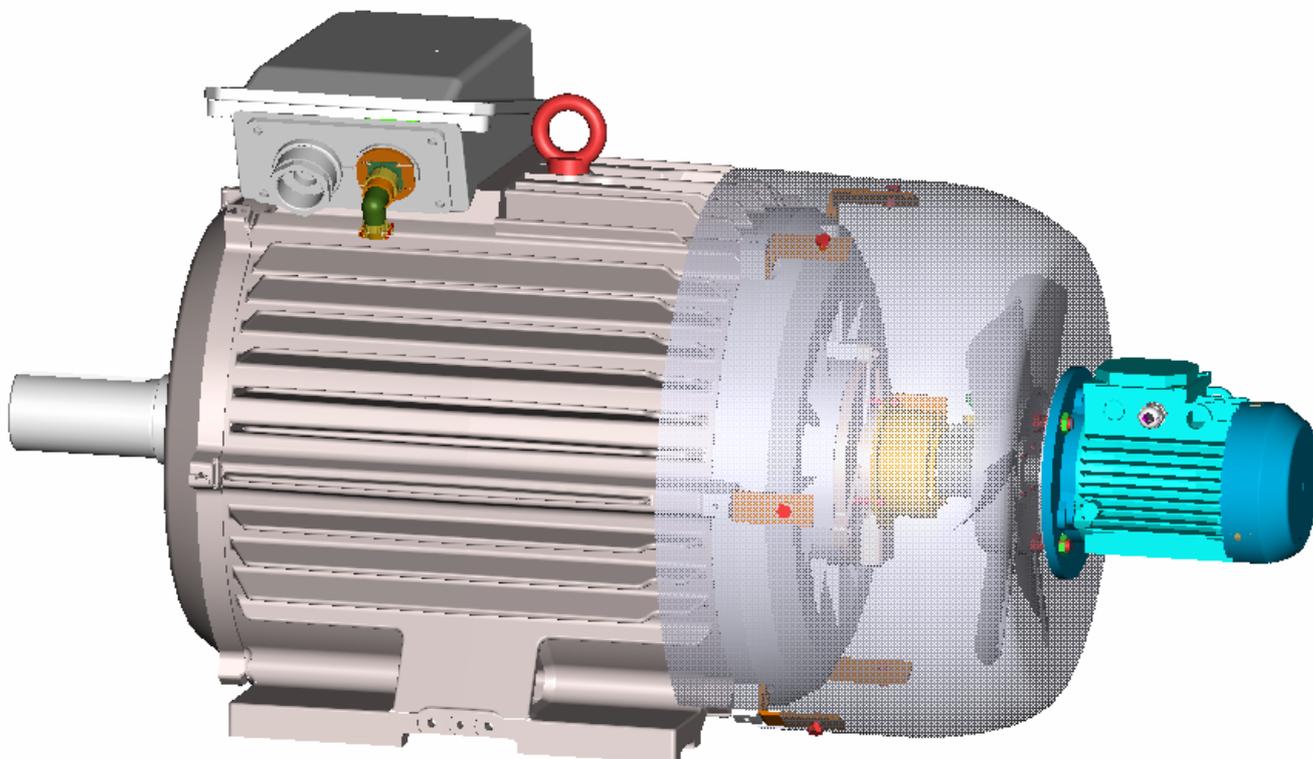


Рисунок 2.

Внешний вид двигателя 5AM250 – 3310, IM1081.

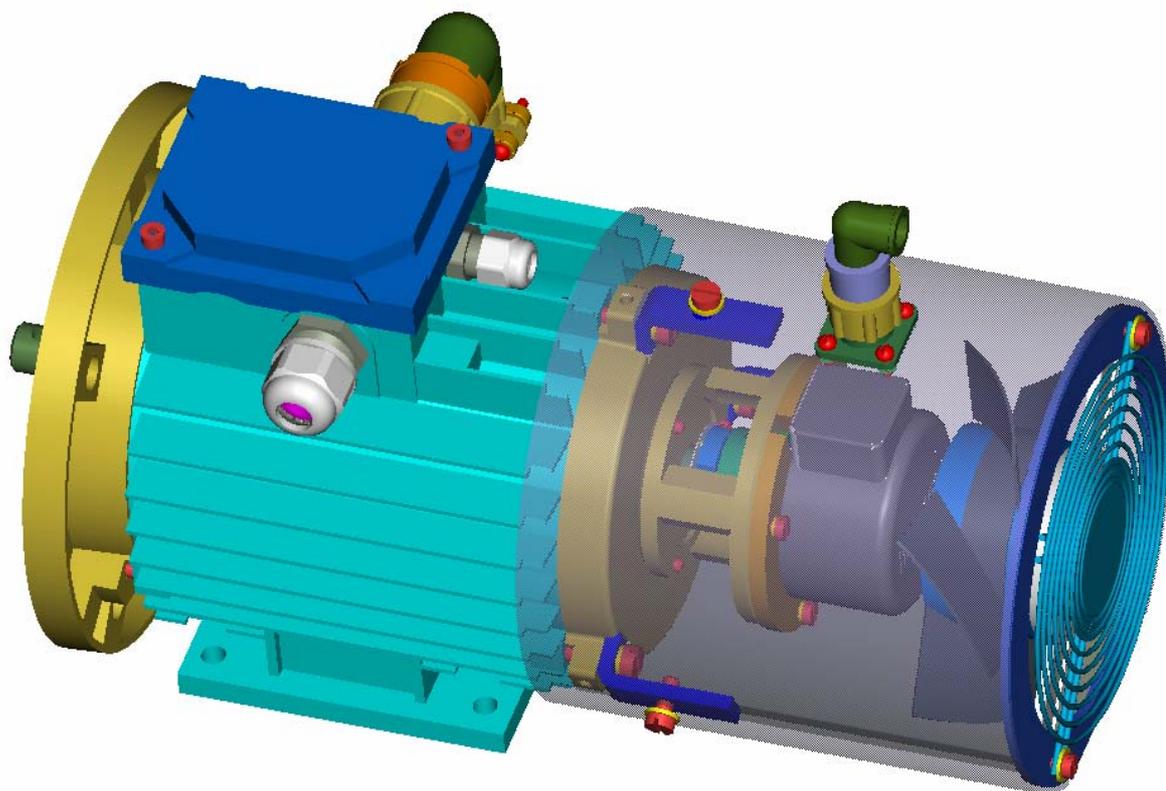


Рисунок 3.

Внешний вид двигателя АИР63 – 1310, IM2081.

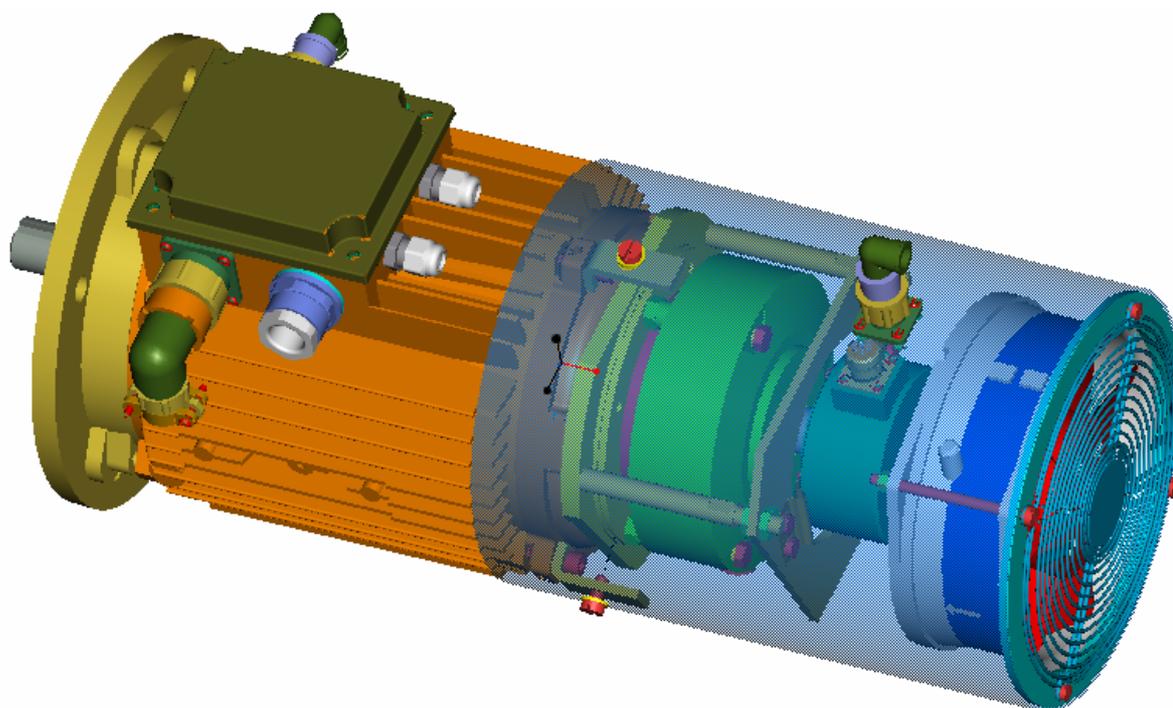


Рисунок 4.

Внешний вид двигателя 5А80-1511, IM3081.