

**А.В. Кукулевский, В.А. Горчаков, В.Н. Рипула,
В.А. Дорофеев, Г.В. Красников**

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ВРВА160 М2-1У2,5 ДЛЯ ПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРОВ ВМЭВО-6А

Взрывозащищенный асинхронный двигатель мощностью 25 кВт на напряжение 660/380 В для привода шахтных вентиляторов местного проветривания.

К л ю ч е в ы е с л о в а: вентилятор местного проветривания, двигатель, напряжение, мощность, частота вращения, режим работы, исполнение по взрывозащите, климатическое исполнение, категория применения, степень защиты, превышение температуры.

Вибухозахищений асинхронний двигун потужністю 25 кВт на напругу 660/380 В для приводу шахтних вентиляторів місцевого провітрювання.

К л ю ч о в і с л о в а: вентилятор місцевого провітрювання, двигун, напруга, потужність, частота обертання, режим роботи, виконання по вибухозахисту, кліматичне виконання, категорія застосування, ступінь захисту, перевищення температури.

Постановка проблемы. Атмосфера подземных горных выработок шахт в силу ограниченного их объема легко насыщается вредными примесями техногенного и (или) природного характера. Превышение допустимых концентраций угольной пыли и газов опасно для здоровья и жизни работающих в выработках и ограничивает возможности проведения производственных процессов. Основным направлением борьбы с вредными примесями в подземных горных выработках является их разжижение до допустимых концентраций подаваемым в выработки свежим воздухом. Таким образом, современное горное предприятие немислимо без принудительной вентиляции. Прекращение проветривания влечет за собой остановку всего технологического комплекса шахты или рудника, вывод людей на поверхность, прекращение работы всех машин и механизмов. От надежной, безотказной работы системы проветривания полностью зависит безопасность, а зачастую и жизнь людей, работающих в шахте. Особенно это актуально в Донбассе, поскольку здесь горно-геологические условия добычи угля являются особенно опасными из-за большой глубины залегания угольных пластов.

В горной отрасли на привод вентиляторов, обслуживающих шахту, уходит до 30 % электроэнергии, расходуемой всей шахтой [1]. В связи с этим создание высокоэкономичных вентиляторов и правильное их использование имеет большое значение.

Одним из ведущих производителей промышленных вентиляторов в Украине является ООО НПО «Донвентилятор», основанное в 1996 г. Продукцией предприятия являются вентиляторы общего и специального назначения, дымососы и дутьевые вентиляторы котельных установок, а также шахтные вентиляторы главного и местного проветривания. Такая обширная номенклатура выпускаемой продукции приводит к необходимости осуществлять комплектование вентиляторов приводными электродвигателями (ЭД) сторонних заводов-изготовителей как Украины, так и стран СНГ. Это не всегда целесообразно ввиду увеличения времени поставки ЭД, а в случае выхода из строя ЭД или получения рекламации на него возникает ряд проблем, вызванных необходимостью привлечения представителей предприятий-поставщиков или изготовителей приводного механизма.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время на рынке электромашиностроения Украины и стран СНГ представлена продукция большого количества предприятий-распространителей и заводов-изготовителей. Однако лишь небольшая часть из них занимается производством шахтных взрывозащищенных асинхронных ЭД для привода вентиляторов главного и местного проветривания. Ведущими представителями таких заводов являются:

– ОАО «Первомайский электромеханический завод им. К. Маркса», Первомайск Луганской обл.;

– ООО «Новокаховский электромеханический завод», Новая Каховка Херсонской обл.;

– ПАО «Донецкий электротехнический завод» (ДЭТЗ);

– ООО «ПО «Кузбассэлектромотор», Кемерово, Россия;

– ООО ПК «Владимирский электромоторный завод», Россия;

– ОАО «Ярославский электромашиностроительный завод «ELDIN», Россия;

– ОАО «Могилевский завод «Электродвигатель», Беларусь;

– РУП Завод «Полесьеэлектромаш», Лунинец, Беларусь.

Анализ каталогов и номенклатуры вышеперечисленных заводов показал:

а) предприятия Беларуси не производят взрывозащищенные ЭД для приводов осевых вентиляторов [2];

б) Первомайский электромеханический завод им. К.Маркса производит взрывозащищенные ЭД серии АИУВ, ВРМ и 2ВР2М для привода вентиляторов мощностью 75 и 110 кВт соответственно [3];

в) Новокаховский электромеханический завод выпускает вентиляторы шахтные местного проветривания мощностью от 15 до 25 кВт [4];

г) «Кузбассэлектромотор» имеет в составе своей продукции целый ряд взрывозащищенных ЭД для привода вентиляторов серии 2ВРМ мощностью от 25 до 160 кВт [5];

д) ООО ПК «ВЭМЗ» выпускает ЭД мощностью от 0,75 до 315 кВт, в диапазоне частоты вращения от 500 до 3000 об /мин [6];

е) завод «ELDIN» производит ряд взрывозащищенных ЭД мощностью от 3 до 45 кВт, частотой вращения от 500 до 3000 об/мин и напряжением 380 В [7];

ж) ДТЭЗ выпускает взрывозащищенные ЭД серии АДВР-М для привода вентиляторов местного проветривания мощностью от 15 до 110 кВт и напряжением от 380 до 1140 В.

До настоящего времени «Донвентилятор» использовал в качестве привода для вентиляторов типа ВМЭВО электродвигатели производства заводов «Кузбассэлектромотор», «Первомайский электромеханический завод им.К.Маркса» и «Новокаховский электромеханический завод». Однако для повышения конкурентоспособности своей продукции путем снижения себестоимости вентиляторов (до 80 % стоимости которых составляет стоимость приводного ЭД) и снижения затрат времени на поставку ЭД, руководством «Донвентилятор» было принято решение о собственном производстве нового ряда взрывозащищенных ЭД. Совместно с ГП «УкрНИИВЭ» была разработана серия подобных ЭД на напряжение 380, 660, 1140 В и мощность от 15 до 110 кВт.

Цель статьи. Создать надежный и компактный ЭД для шахтного вентилятора местного проветривания.

Результаты исследований. Первым из спроектированной серии был изготовлен двигатель типа ВРВА160 М2 мощностью 25 кВт и напряжением 660/380 В¹. Он предназначен для работы в качестве привода вентиляторов в угольных шахтах, опасных по газу метану и угольной пыли согласно украинскому НПАОП 10.0-1.01-10 и российским ПБ 05-618-03 и имеет рудничное взрывозащищенное исполнение РВ-ЗВ по ГОСТ 12.2.020-76.

Двигатель изготавливается без собственного вентилятора и рассчитывается на эффективный обдув основным потоком воздуха от рабочего колеса вентиляторов ВМЭВО, омывающего корпус ЭД. Во избежание увеличения локального и среднего превышения температуры обмотки корпуса статора была выбрана оптимальная конструкция корпуса, исключая «теневые» участки и обеспечивающая равномерный доступ к корпусу охлаждающего воздуха, идущего от рабочего колеса вентилятора.

Статор представляет стальную сварную станину фланцевого исполнения, в которую запрессован сердечник, набранный из листов электротехнической стали 2212 ГОСТ 21427.2-83. Обмотка статора двухслойная, выполнена проводом ПЭТД2-200 ТУ У.13970259.001-79 с изоляцией класса нагревостойкости Н по ГОСТ 8865-70.

¹ В разработке рабочей документации и испытаниях от ГП «УкрНИИВЭ», кроме авторов статьи, принимали участие Л.Р.Дмитриева, Л.Ф.Коренная, Е.Ю.Федорова, В.Я.Волох, С.В.Волох, М.И.Введенская, Н.В.Тимура, М.П.Дума, Л.П.Семикина, В.Г.Брага, С.Г.Кильдеев, К.Д. Макаров, Л.К. Шихова.

Сердечник ротора набран также из листов электротехнической стали 2212 ГОСТ 21427.2-83, а его обмотка отлита из алюминия А7Е ДСТУ ГОСТ11069-2003 в виде короткозамкнутой клетки заодно с вентиляционными лопатками. Ротор на валу удерживается с помощью шпонки.

Вводное устройство включает в себя коробку выводов и переходной патрубков (приставку). Коробка выводов стальная сварная, состоит из корпуса, крышки, кабельных муфт, проходных изоляторов и уплотняющих колец, обеспечивает ввод гибкого кабеля с медными жилами и имеет три силовых изолятора, нулевую точку (изолятор) и два проходных изолятора для подключения цепи температурной защиты, а также внутренний заземляющий зажим для подсоединения заземляющей жилы кабеля и наружный для подсоединения к общей магистрали заземления шахты. Для взрывонепроницаемого уплотнения кабеля предусмотрены резиновые уплотнительные кольца. Между токоведущими частями и заземляющими элементами оболочки обеспечены требуемые расстояния утечки и электрические зазоры. На крышке коробки выводов имеется надпись «Открывать, отключив от сети».

Подшипниковые щиты выполнены литыми из высокопрочного чугуна ВЧ 35 ГОСТ 7293-85 (применение стали и высокопрочного чугуна обеспечивает прочность конструкции при возможном ударе в процессе транспортирования и эксплуатации). Подшипниковый щит со стороны выступающего конца вала и станина имеют фланец с центрирующей заточкой, с помощью которой ЭД центрируется в корпусе вентилятора.

Взрывобезопасность ЭД обеспечивается за счет заключения электрических частей во взрывонепроницаемую оболочку, которая выдерживает давление взрыва 1 МПа внутри ее и за счет щелевой взрывозащиты исключает передачу взрыва в окружающую взрывоопасную среду. Поверхности, образующие взрывозащищенные соединения, для предохранения их от коррозии покрыты смазкой Литол (МЛи 4/12-3) ГОСТ 21150-87.

Степень защиты двигателя и коробки выводов от наружных воздействий, обеспечиваемая оболочками, выполнена IP54 по ГОСТ 17494-87 и ГОСТ 14254-96.

Согласно ГОСТ 12.2.020-76 ЭД имеет встроенную температурную защиту типа TP111 по ГОСТ 27888-88. Обеспечение температурной защиты достигается установкой в обмотки двух фаз статора температурных реле SO1.180.05 по ГОСТ 27917-88.

Температурная защита выполнена на номинальную температуру срабатывания 160 °С для класса нагревостойкости изоляции Н. Датчики температурной защиты должны включаться в цепь управления ЭД. Электрическая цепь температурной защиты – искробезопасная уровня Ia по ГОСТ 22782.5-78 (ГОСТ Р 51330.10-99).

ЭД соответствует требованиям ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-89 по значениям воздействующих климатических факторов внешней среды, но

при этом в условиях эксплуатации верхнее значение температуры окружающего воздуха равно 40 °С, а нижнее значение температуры при эксплуатации, транспортировке и хранении – минус 60 °С.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры ЭД типа ВРВА160 М2-1УХЛ2,5, 25кВт приведены на рисунке 1. Он соответствует ОСТ 160.510.061-84 и имеет следующие обозначения: В – взрывозащищенный; Р – рудничный; В – вентиляторный; А – асинхронный; 160 – высота оси вращения; М – условная длина; 2 – число полюсов; 1 – исполнение по типу проставки (1, 2); У2,5–климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69 (У – для внутреннего рынка, УХЛ – для экспорта в страны СНГ).

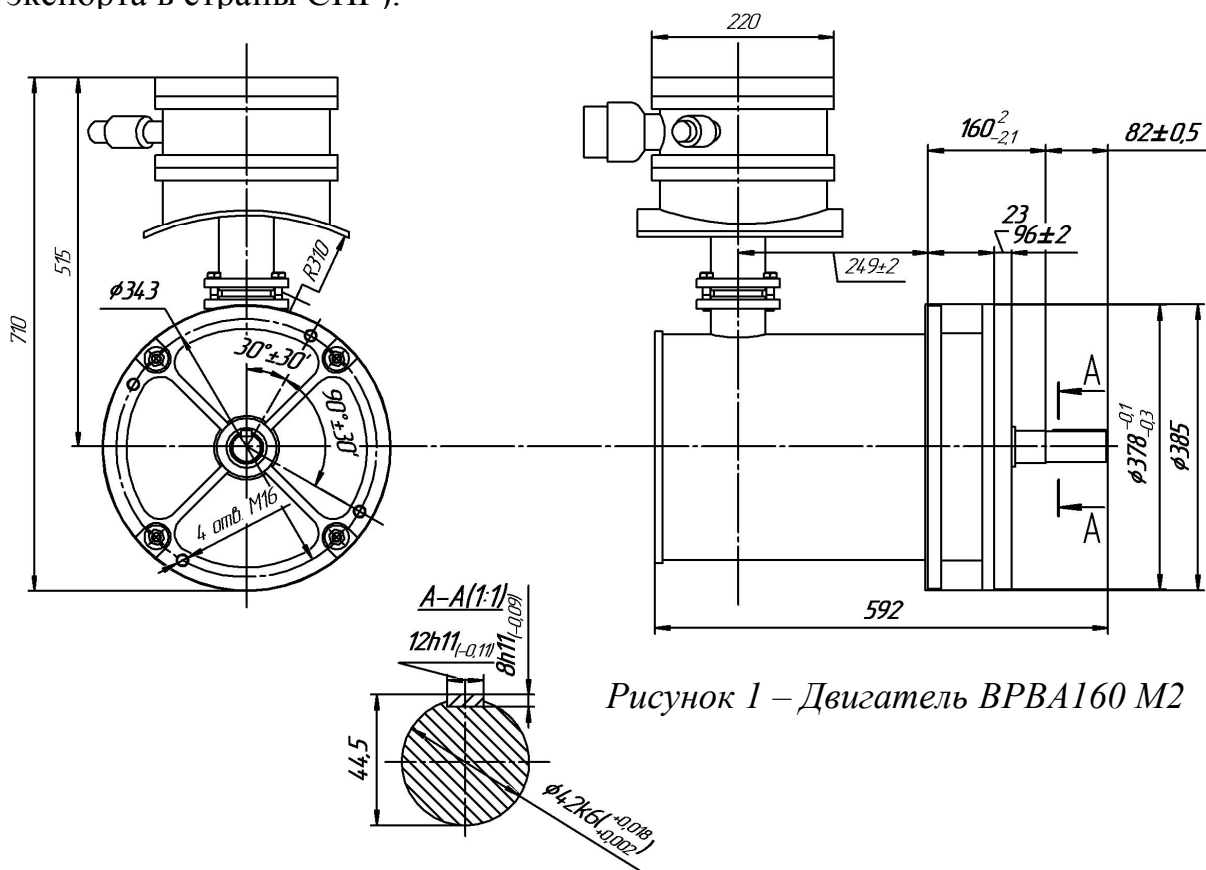


Рисунок 1 – Двигатель ВРВА160 М2

Номинальный режим работы – S1 по ГОСТ 183-74. Возможность эксплуатации ЭД в других режимах работы должна быть согласована с предприятием-изготовителем. Технические параметры ЭД в режимах работы, отличных от S1, оговариваются в технической документации при согласовании на их применение для работы в другом режиме.

Двигатель допускает не более четырех пусков подряд из холодного состояния, а из нагретого состояния его можно запускать не более двух раз при коэффициенте инерции привода FJ до двух. Нормирован прямой пуск от сети при снижении напряжения при пуске до $0,8 U_{ном}$ и работа с номинальной нагрузкой, если после окончания пуска ЭД напряжение на его зажимах соответствует ГОСТ 183-74.

Двигатель изготовлен с влагостойкой изоляцией не ниже класса нагревостойкости Н по ГОСТ 8865-93, рассчитанной на работу при значении относительной влажности 100 % при температуре 35 °С. Обмотка статора ВРВА может выполняться мягкими или жесткими секциями с изоляцией уровня 1 по ГОСТ 24719-81 (ГОСТ Р 51330.20-99). Испытуемый образец был изготовлен с мягкими секциями обмотки и классом нагревостойкости изоляции Н по ГОСТ 8865-93 (предельное превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды, измеренное по методу сопротивления, не должно превышать 125 °С). Превышение температуры обмотки статора при условии непрерывной работы может быть выше указанных значений, но не более чем на 10 °С. Способом охлаждения двигателя является обдув воздухом гладкой поверхности станины рабочим колесом вентилятора, которое установлено на валу ЭД.

Изоляция обмоток статора относительно корпуса, а также междувитковая изоляция выдержали испытания на электрическую прочность по ГОСТ 11828-86. Сопротивление изоляции обмотки статора относительно корпуса и между обмотками фаз в нормальных климатических условиях, измеренное в холодном состоянии (20 °С) при выпуске с предприятия-изготовителя должно быть не менее 20 МОм. В испытуемом образце оно составило 1000 МОм.

Двигатель имеет симметричную короткозамкнутую обмотку ротора (проверка симметричности проводилась путем определения силы изменения тока статора от угла поворота ротора в режиме короткого замыкания).

Во вводном устройстве имеются три силовых контактных зажима, к которым подводятся выводы от обмотки статора. Пересоединение схемы обмотки со «звезды» на «треугольник» осуществляется под коробкой выводов: при соединении в «звезду» выводные провода обмоток фаз соединяются на силовые изоляторы, а переключение схемы обмотки со «звезды» на «треугольник» производится с использованием четвертого изолятора. Вводное устройство также имеет два зажима для подключения цепей температурной защиты. Коробка выводов крепится на корпусе вентилятора, соединяется с полостью ЭД с помощью переходного патрубка и допускает поворот на угол 90° в плоскости установки.

Оболочка ЭД выдерживает испытания на удар согласно ДСТУ 7114-2009, ГОСТ Р 51330.1-99.

Конструкция двигателя ВРВА160 М2 выполнена с использованием необслуживаемых подшипников, которые заполняются смазкой Литол-24 – МЛи 4/12-3 на заводе-изготовителе. Это необходимо для того, чтобы под влиянием разности давления воздуха, создаваемой вентилятором из подшипниковых узлов не вытекала смазка.

Для определения превышения температуры обмотки и отдельных частей ЭД проведены его испытания на нагревание методом непосредственной нагрузки при номинальном напряжении $U = 660 \text{ В}$ и $U = 0,9 \cdot U_n$ и раз-

личном расходе воздуха. Для нагрузки использовался вентилятор типа ВМЭВО-6А с диаметром рабочего колеса 630 мм. При максимальном расходе воздуха полезная мощность двигателя составила 20,9 кВт, при этом превышение температуры обмотки статора над температурой окружающего воздуха – 65,1 °С, а фактическое превышение температуры обмотки статора, при экстраполяции до температуры окружающего воздуха 40 °С, составило 124,6 °С. Данное значение соответствует ГОСТ 183-74 и ТУ У 27.1-37216486-002:2012.

Максимальная температура наружной поверхности ЭД с учетом температуры окружающей среды при номинальной нагрузке по ДСТУ 7113-2009 не должна превышать 150 °С, реальная температура корпуса при испытании при пересчете на заданную температуру среды 40 °С составила 106,1 °С.

При снижении расхода воздуха ниже левой границы аэродинамической характеристики вентилятора полезная мощность составила 22,4 кВт, а превышение температуры обмотки статора – 81,6 °С, при этом превышение температуры наиболее нагретой поверхности корпуса составило 28,8 °С, а подшипниковых щитов – 42,5 °С.

Во время тепловых испытаний датчики температурной защиты ЭД не срабатывали. При плавном повышении силы тока до $1,5 \cdot I_n$ датчики температурной защиты сработали при температуре лобовой части обмотки статора 161 °С, что свидетельствует о надежности данной защиты.

Значения основных параметров, полученные при испытании ЭД, и их соответствие требованиям технических условий ТУ У 27.1-37216486-002:2012 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметр, размерность	Значение параметра	
	По ТУ У27.1-37216486-002:2012	По опыту
1	2	3
Режим работы по ГОСТ 183-74	S1	S1
Номинальная мощность, кВт	25	25
Номинальное напряжение, В	660	660
Номинальная сила тока, А	27,2	26,3
Синхронная частота вращения, об /мин	3000	3000
Номинальное скольжение, %	2,5	2,76
Коэффициент полезного действия, %	90,5	90,95
Коэффициент мощности	0,89	0,914
Отношение силы начального пускового тока к номинальной	7,0	6,96

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Отношение начального пускового вращающего момента к номинальному	2,2	2,1
Отношение максимального вращающего момента к номинальному	3,0	3,0
Превышение температуры обмотки статора для изоляции класса нагревостойкости типа «Н», °С	125	124,6

Вывод. Создан и испытан надежный компактный взрывозащищенный ЭД типа ВРВА160 М2-1У2,5 напряжением 380/660 В мощностью 25 кВт для привода вентилятора ВМЭВО-6А.

Список литературы

1. Концепция снижения энергопотребления стационарными установками угольных шахт / Вареник Е.А., Омельченко А.Н., Дубинский А.А., Лазебник Р.М. // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. УкрНИИВЭ.– Донецк: ООО «АИР», 2010.– С. 7-20.

2. Каталог продукции ОАО «Полесьеэлектромаш» и каталог продукции ОАО «Могилевский завод «Электродвигатель» [Электронные ресурсы].– Режим доступа :

http://rotor.brest.by/page_514 и <http://mez.by/katalog.shtml>.

3. Сайт предприятия ОАО «Первомайский электромеханический завод им. К. Маркса» [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://pemz.ucoz.com/index/0-9>.

4. Сайт завода ООО «Новокаховский электромеханический завод» (НКЭМЗ) [Электронный ресурс] / Концерн РОСЭЛЕКТРОМАШ. – Режим доступа:

<http://www.rosenergomash.com/business/partner/nkemz/history>.

5. Каталог продукции ООО «ПО «Кузбассэлектромотор». [Электронный ресурс].– Режим доступа:

<http://www.kuzbass-motor.ru/kuzbassmotor.pdf>.

6. Электронный каталог ООО ПК «ВЭМЗ». [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://vemp.ru/prod/motors.html>.

7. Электродвигатели [Электронный ресурс] / Ярославский электромашиностроительный завод «Eldin».– Режим доступа:

<http://eldin.ru/catalog/electromotors.php>.