

УДК 621.313.333.2

**РАЗРАБОТКА ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ
ПРИВОДА РЕЗАНИЯ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА****Кукулевский Алексей Васильевич,**

Государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт взрывозащищенного и рудничного электрооборудования», заведующий отделом электрических машин

Электронная почта: niive@list.ru

Россия, г. Донецк

Горчаков Виталий Александрович,

Государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт взрывозащищенного и рудничного электрооборудования», заведующий лабораторией электрических машин

Электронная почта: niive@list.ru

Россия, г. Донецк

Аннотация

Статья посвящена разработке высокоэффективного взрывозащищенного асинхронного электродвигателя для повышения энерговооруженности проходческих комплексов России. Описана конструкция и технические характеристики, вновь разработанного ГБУ «НИИВЭ» взрывозащищенного асинхронного электродвигателя ЭКВ4,5-160-6 для проектируемого ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ» комбайна КПФ.

Ключевые слова: привод резания, взрывозащищенный асинхронный электродвигатель, торсионный вал, система охлаждения, температурная защита

**DEVELOPMENT OF AN EXPLOSION-PROOF ELECTRIC MOTOR TO DRIVE
THE CUTTING OF A TUNNELING COMBINE****Kukulevskiy Alexey Vasilevich,**

State budgetary institution scientific-research, project-designing and technological institute of explosion proof and mine electrical equipment, head of the department of electrical machines

E-mail: niive@list.ru

Russia, Donetsk

Gorchakov Vitaliy Aleksandrovich,

State budgetary institution scientific-research, project-designing and technological institute of explosion proof and mine electrical equipment, head of the laboratory of electrical machines

E-mail: niive@list.ru

Russia, Donetsk

ABSTRACT

The article is devoted to the development of a highly efficient explosion-proof asynchronous electric motor to increase the energy capacity of Russian tunneling complexes. The design and technical characteristics of the newly developed GBU "NIIVE" explosion-proof asynchronous electric motor EKV4,5-160-6 for the KPF combine harvester designed by GBU "DONUGLEMASH" are described.

Keywords: cutting drive, explosion-proof asynchronous electric motor, torsion shaft, cooling system, temperature protection

Актуальность. В настоящее время на территории РФ проходческие комбайны серийно выпускают два предприятия. Основным производителем считается Копейский машиностроительный завод, который предлагает восемь моделей проходческих машин [1]. Ясиноватский машиностроительный завод предлагает потребителям пять моделей проходческих комбайнов [2]. Все присутствующие в каталогах этих предприятий проходческие машины по способу обработки забоя представлены двумя типами:

Избирательного действия (стреловидные). У них исполнительный орган на стреле с режущей коронкой, которая двигается по забоям.

Бурового (роторного) действия. Ротор с шарошками разрушает весь забой сразу, часто с распорно-шагающим механизмом.

Данные типы машин имеют много преимуществ, так стреловидные машины обладают универсальностью и могут обрабатывать выработки различной формы, а машины роторного действия имеют более высокую производительность. Однако в РФ широко и успешно используются проходческие комплексы фронтального действия фирм Sandvik и JOY, предназначенные для проведения горных выработок по породе с высокой крепостью. При помощи комбайна Sandvik MB670-1 проходческие бригады на шахтах компании «СУЭК-Кузбасс» подготавливают более 4 км горных выработок в год [3]. Исполнительный орган данной машины оснащен электродвигателем мощностью 270 кВт, при помощи которого можно обрабатывать сечение штрека высотой до 5000 мм и шириной до 6200 мм. Учитывая положительный опыт применения данных машин и в условиях невозможности дальнейшего прямого сотрудничества угольных предприятий с западными производителями горно-шахтного оборудования

ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ» взялся за разработку нового высокопроизводительного проходческого комбайна непрерывного действия с фронтальным исполнительным органом типа КПФ. Для разрушения горного массива данный комбайн должен оснащаться приводом мощностью 320 кВт. Первоначально планировалось разработать один электродвигатель такой мощности, однако после детальной проработки исполнительного органа пришли к выводу об использовании двух электродвигателей по 160 кВт. К разработке такого электродвигателя приступило ГБУ «НИИВЭ»

Цель работы. Представить результаты проектирования высокоэффективного взрывозащищенного водоохлаждаемого асинхронного электродвигателя мощностью 160 кВт, на номинальное напряжение $U_n=1140$ В с торсионным валом, коробкой выводов с двумя кабельными вводами для подключения силового и контрольного кабелей, спроектированного для использования в электроприводе исполнительного органа комбайна КПФ.

Разработка направлена на создание нового двигателя, эксплуатация которого в комплексе с проходческим комбайном позволит повысить темпы ввода лав в работу и в дальнейшем обеспечивать высокую производительность добычных участков. При проектировании асинхронного электродвигателя ЭКВ4,5-160-6 (именуемого в дальнейшем «двигатель») были выполнены электромагнитные и механические расчеты, на основании которых разработана обмоточная записка и система изоляции двигателя. Конструкция двигателя разрабатывается в среде системы автоматизированного проектирования КОМПАС с использованием методов интенсификации.

Двигатель предназначен для работы в подземных выработках угольных шахт при следующих условиях:

а) номинальные значения климатических факторов У5 — по [4, 5], но при этом во время эксплуатации нижнее значение температуры окружающего воздуха принято плюс 1 °С, верхнее - плюс 35 °С;

б) высота над уровнем моря – не более 1000 м;

в) степень защиты от внешних воздействий – IP54 по [6].

Двигатель имеет взрывозащищённое исполнение с уровнем взрывозащиты Mb, вид взрывозащиты: «взрывонепроницаемые оболочки «d» по [7]. Маркировка взрывозащиты по [8] - РВ Ex db [ia Ma] I Mb, $+1^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq +35^{\circ}\text{C}$ (где T_a -температура окружающей среды при эксплуатации).

Оболочка двигателя имеет параметры взрывонепроницаемых соединений в соответствии с [7], выдерживает давление взрыва внутри неё и является ударостойкой при 20 Дж (пригодна для применения в условиях высокой опасности механических повреждений по [8]).

Исполнение двигателя по способу монтажа – IM4209 по [9] (без лап с фланцем, размещенным на станине, ближе к щиту, на котором расположено вводное устройство). Корпус – стальной сварной цилиндрический, с устройствами для перевода охлаждающей воды в подшипниковые щиты.

3D модель двигателя ЭКВ4,5-160-6 представлена на рисунке 1.

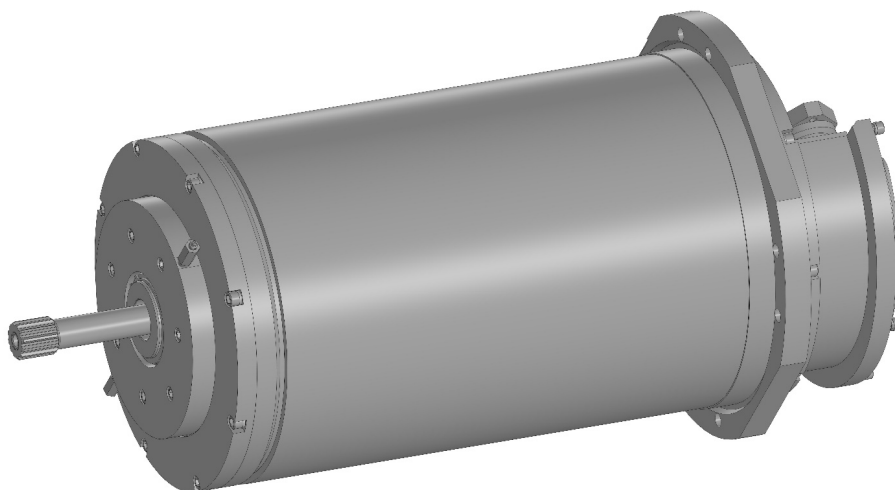


Рисунок 1 - 3D модель двигателя ЭКВ4,5-160-6

Подшипниковые щиты – стальные сварные с полостями для охлаждения водой.

Способ охлаждения двигателя – IC7A1W7 по [10] (воздух, выступающий в качестве первичного хладагента, при помощи внутренних вентиляторов, расположенных на валу ротора, отбирает тепловую энергию от лобовых частей обмотки статора и передает ее корпусу двигателя, подшипниковым щитам. Далее при помощи воды она отводится в окружающую среду). Данная система охлаждения корпуса и подшипниковых щитов

интенсифицировала отвод тепла от обмотки статора, что позволило уменьшить габаритные размеры двигателя.

Система водяного охлаждения рассчитана на испытательное давление 3 МПа, рабочее давление – до 2 МПа, номинальный расход воды – 30 л/мин.

Обмотка статора шестиполусная, выполнена жесткими катушками, с изоляцией класса нагревостойкости Н.

Двигатель имеет многоуровневую встроенную температурную защиту обмоток статора и подшипниковых узлов. Температурная защита типа - TP212 по [11]. Шесть терморезисторов (с температурой срабатывания плюс 180 °С) устанавливаются в обмотку статора и по два (с температурой срабатывания плюс 120 °С) в подшипниковые узлы. Дополнительно, для постоянного мониторинга температуры, в обмотку статора и подшипниковые узлы установлены по два резистора типа Pt100.

Обмотка ротора представляет собой медно-сварную клетку в виде медных стержней и короткозамыкающих колец, имеет глубокие пазы большого сечения, что обеспечивает низкое значение сопротивления обмотки и позволяет снизить потери в контуре ротора и, соответственно, повысить КПД двигателя.

Конструктивно вал двигателя изготовлен полым, с внутренним шлицевым зацеплением, размещенным близко к подшипнику со стороны вводного устройства. В этот вал вставляется торсионный вал планетарного редуктора исполнительного органа комбайна с внешним шлицевым зацеплением. Такое техническое решение не только уменьшает общую длину двигателя и его вала, не имеющего собственного выступающего конца, но и смягчает передаваемые ему колебания фактической нагрузки исполнительного органа за счет скручивания торсионного вала в пределах его упругости, а также снижает уровень нагрузок на подшипник со стороны привода за счет уменьшения влияния несоосности валов двигателя и редуктора, что приводит к уменьшению их вибрации в целом.

Значения основных электрических, энергетических и моментных параметров двигателя приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные электрические, энергетические и моментные параметры двигателя ЭКВ4,5-160-6

Наименование параметра и размера	Значение
Номинальная мощность, кВт	160
Номинальное напряжение сети, В	1140
Режим работы	S1
Номинальная сила тока, А	103
Синхронная частота вращения, об/мин	1000
Номинальное скольжение, %	2,4
Коэффициент полезного действия, %	92,8
Коэффициент мощности	0,85
Сила начального пускового тока, А	515
Номинальный вращающий момент, Н·м	1568
Начальный пусковой вращающий момент, Н·м	2352
Максимальный вращающий момент, Н·м	2822
Отношение силы начального пускового тока к номинальному	5,0

Отношение начального пускового вращающего момента к номинальному	1,5
Отношение максимального вращающего момента к номинальному	1,8

Вывод. Создан высокоэффективный, универсальный, рудничный, взрывозащищенный, асинхронный электродвигатель ЭКВ4,5-160-6 на напряжение 1140 В, мощностью 160 кВт, синхронной частотой вращения 1000 об/мин, с водяным охлаждением корпуса и подшипниковых щитов для вновь разрабатываемого комбайна КПФ, способствующий повышению производительности подготовительных работ.

Список литературы:

1. Каталог продукции АО «Копейский машиностроительный завод» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kopemash.ru/products/coal.php> (дата обращения 27.07.2026).
2. Каталог продукции ООО Научно-производственное объединение «Ясиноватский машиностроительный завод» [Электронный ресурс]. URL: <http://ymz-ltd.com/product.html> (дата обращения 27.07.2026).
3. «Первый в отрасли проходческий комбайн нового поколения запущен в АО «СУЭК-Кузбасс» Министерство угольной промышленности Кузбасса. [Электронный ресурс]. URL: https://mupk42.ru/ru/press-center/event/sobytiya/581687/?month=07&year=2025&SECTION_CODE=sobytiya&ELEMENT_CODE=581687 (дата обращения 27.07.2026).
4. ГОСТ15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды = Machines, instruments and other industrial products. Modifications for different climatic regions. Categories, operating, storage and transportation conditions as to environment climatic aspects influence : межгосударственный стандарт: издание официальное : утвержден постановлением Госстандарта СССР № 1394 от 29 декабря 1969 г. : введен в действие с 1 января 1971 г. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 71 с. ; 21 см. – Текст : непосредственный.
5. ГОСТ 15543.1-89. Изделия электротехнические и другие технические изделия. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам = Electrical and other industrial products. General requirements for resistance to environment climatic factors: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден постановлением Госстандарта СССР № 2381 от 14 июля 1989 г. : введен в действие с 1 января 1990 г. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2000. – 18 с. ; 21 см. – Текст : непосредственный.
6. ГОСТ 14254-2015. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP): межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 июня 2016 г. N 604 / Москва : Стандартинформ, 2019. – 36 с. – Текст : непосредственный.

7. ГОСТ ИЕС 60079-1-2013. Взрывоопасные среды. Часть 1. Оборудование с видом взрывозащиты взрывонепроницаемые оболочки (d): межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2013 г. N 1735-ст / Москва : Стандартинформ, 2014. – 93 с. – Текст : непосредственный.
8. ГОСТ 31610.0-2019. Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 ноября 2019 г. N 1284-ст / Москва : Стандартинформ, 2019. – 142 с. – Текст : непосредственный.
9. ГОСТ 2479-79. Машины электрические вращающиеся. Условные обозначения конструктивных исполнений по способу монтажа: межгосударственный стандарт: издание официальное : утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта СССР № 1511 от 25 апреля 1979 г. – Москва : Ордена «Знак Почета» издательство стандартов, 1990. – 25 с. ; 21 см. – Текст : непосредственный.
10. ГОСТ Р МЭК 60034-6-2012. Машины электрические вращающиеся. Часть 6. Методы охлаждения (Код IC): межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 ноября 2012 г. N 1112-ст / Москва : Стандартинформ, 2014. – 20 с. – Текст : непосредственный.
11. ГОСТ 27888-88. Машины электрические вращающиеся. Встроенная температурная защита. Правила защиты: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта СССР № 3736 от 21 ноября 1988 г. – Москва : Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 1989. – 18 с. – Текст : непосредственный.

References:

1. Product Catalog of Kopeysk Machine-Building Plant JSC [Electronic resource]. URL: <https://www.kopemash.ru/products/coal.php> (accessed July 27, 2026).
2. Product Catalog of Yasinovatsky Machine-Building Plant Research and Production Association LLC [Electronic resource]. URL: <http://ymz-ltd.com/product.html> (accessed July 27, 2026).
3. "The industry's first new-generation tunnel boring machine has been launched at SUEK-Kuzbass JSC." Kuzbass Ministry of Coal Industry. [Electronic resource]. URL: https://mupk42.ru/ru/press-center/event/sobytiya/581687/?month=07&year=2025&SECTION_CODE=sobytiya&ELEMENT_CODE=581687 (accessed July 27, 2026).
4. GOST 15150-69. Machines, instruments, and other industrial products. Versions for different climatic regions. Categories, operating, storage, and transportation conditions in terms of exposure to climatic factors of the external environment = Machines, instruments, and other industrial products. Modifications for different climatic regions. Categories, operating, storage, and transportation conditions as to environmental climatic aspects influence: interstate standard: official publication: approved by Resolution of the USSR

State Standard No. 1394 of December 29, 1969: entered into force on January 1, 1971. – Moscow: Standartinform, 2010. – 71 p.; 21 cm. – Text: direct.

5. GOST 15543.1-89. Electrical and other industrial products. General requirements for resistance to external climatic factors = Electrical and other industrial products. General requirements for resistance to environmental climatic factors: interstate standard: official publication: approved by Resolution of the USSR State Standard No. 2381 of July 14, 1989: entered into force on January 1, 1990. – Moscow: IPC Publishing House of Standards, 2000. – 18 p.; 21 cm. – Text: direct.
6. GOST 14254-2015. Degrees of protection provided by enclosures (IP Code): interstate standard: official edition: approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated June 10, 2016 N 604 / Moscow: Standartinform, 2019. – 36 p. – Text : direct.
7. GOST IEC 60079-1-2013. Explosive atmospheres. Part 1. Equipment with explosion-proof enclosures (d) type of protection: interstate standard: official edition: approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated November 22, 2013 N 1735-st / Moscow: Standartinform, 2014. – 93 p. – Text : direct.
8. GOST 31610.0-2019. Explosive atmospheres. Part 0. Equipment. General requirements: interstate standard: official publication: approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated November 20, 2019 N 1284-st / Moscow: Standartinform, 2019. – 142 p. – Text : direct.
9. GOST 2479-79. Rotating electric machines. Conventional designations of design versions according to the installation method: interstate standard: official publication : approved and put into effect by Resolution of the USSR Gosstandart No. 1511 dated April 25, 1979. – Moscow: Order of the Badge of Honor Publishing House of Standards, 1990. – 25 p. ; 21 cm. – Text : direct.
10. GOST R IEC 60034-6-2012. Rotating electric machines. Part 6. Cooling methods (IC Code): interstate standard: official edition: approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated November 23, 2012 N 1112-st / Moscow: Standartinform, 2014. – 20 p. – Text : direct.
11. GOST 27888-88. Rotating electric machines. Built-in temperature protection. Protection rules: interstate standard: official edition: approved and put into effect by Resolution of the USSR Gosstandart No. 3736 dated November 21, 1988. – Moscow: Order of the Badge of Honor Publishing House of Standards, 1989. – 18 p. – Text : direct.