

комп'ютера з отриманням графічних зображень кривих ймовірностей безвідмовної роботи та оцінюванням вихідного результату.

Для проведення розрахунків персональний комп'ютер представлено як мікропроцесорну систему, яка має складну комбіновану модульну структуру.

**гібридний практикум, проведення практичних занять, надійність персонального комп'ютера, комбінована структура**

Одержано 13.11.15

**УДК 629.423.315**

**В.О. Черная, доц., канд. техн. наук**

*Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского,  
г. Кременчуг, Украина, E-mail: chornajav@gmail.com*

## **Разработка усовершенствованной конструкции тяговых двигателей постоянного тока для шахтных контактных электровозов**

Статья посвящена анализу существующих способов охлаждения тяговых электрических машин рудничных электровозов, условий их эксплуатации в подземных выработках горнорудных предприятий. Рассмотрены известные конструктивные варианты тяговых электрических двигателей отечественного и зарубежного производства, выявлены их преимущества и недостатки. Предложен перспективный вариант конструкции тягового двигателя с принудительным охлаждением. Приведены основные преимущества рекомендуемого конструктивного варианта тягового электрического двигателя.

**електровоз, тяговий двигател, нагрів, вентиляція, надійність**

**В.О. Чорна, доц., канд. техн. наук**

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, Україна*

**Розробка вдосконаленої конструкції тягових двигунів постійного струму для шахтних контактних електровозів**

Стаття присвячена аналізу існуючих способів охолодження тягових електричних машин рудничних електровозів, умов їх експлуатації в підземних виробках гірничорудних підприємств. Розглянуто відомі конструктивні варіанти тягових електричних двигунів вітчизняного та зарубіжного виробництва, виявлено їх переваги і недоліки. Запропоновано перспективний варіант конструкції тягового двигуна з примусовим охолодженням. Наведено основні переваги рекомендованого конструктивного варіанта тягового електричного двигуна.

**електровоз, тяговий двигун, нагрів, вентиляція, надійність**

**Постановка проблемы.** Известно, что используемые на современных типах рудничных контактных электровозов К14 тяговые электрические двигатели (ТЭД) типа ДТН-45, с их различными модификациями, по своему конструктивному исполнению и отсутствию действенной системы контроля параметров тяговых машин не соответствуют условиям эксплуатации в железорудных шахтах и требованиям служб эксплуатации внутришахтного транспорта (ВШТ) этих предприятий [1, 2].

Так, ПАО «Электромашина» (г. Харьков) – до недавнего времени отечественный монополист по выпуску двигателей ДТН-45 различных их модификаций – делал и

продолжает делать немало усилий по совершенствованию конструкции, начиная с предшественников нынешних ДТН-45 и ЭТ-45. Однако ожидаемого ощутимого совершенства пока не достигнуто, как не достигнуто это в той или иной мере в новых образцах тяговых двигателей производства Смелянского машиностроительного завода.

**Актуальность исследований.** Перед изыскателями-конструкторами ТЭД для тяговых электротехнических комплексов шахтных контактных электровозов при построении тактики выбора электрических параметров двигателей по-прежнему, как и ранее, стоит архиважная задача – достижение необходимо-ожидаемого уровня надежности и создание условий для максимально возможного приближения длительной мощности ТЭД к часовой. В значительной степени это связано прежде всего с вопросами охлаждения двигателей, поскольку уровень компенсации недостаточности естественной эксплуатационной вентиляции ТЭД искусственным путем в контексте габаритов и условий работы шахтных электровозов сопряжено с невозможностью решения данной проблемы известными способами [3, 4]. Суть задачи вентиляции ТЭД (как естественной, так и искусственной) заключается в отводе тепла при работе двигателя, что особенно актуально для охлаждения таких элементов ТЭД как якорь и обмотки элементов, располагаемых внутри двигателя, а, следовательно, наименее обдуваемых естественной струей воздуха [5].

**Постановка задания.** Усовершенствование конструкции тягового электродвигателя рудничного контактного электровоза с учетом необходимости улучшения отвода тепла в процессе его функционирования на электроподвижном составе в условиях железорудных шахт.

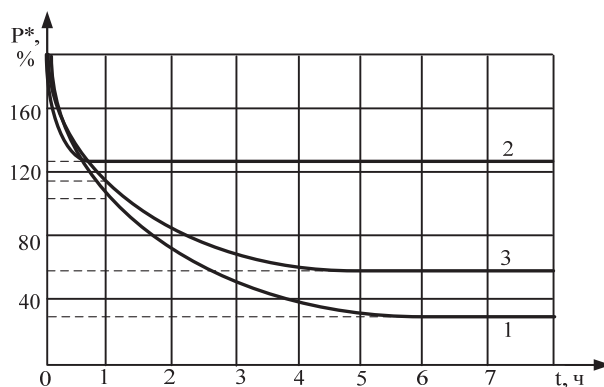
**Изложение основного материала.** Проблема охлаждения ТЭД является непростой для любого вида электрифицированного транспорта. В силу имеющихся возможностей каждого отдельно взятого вида транспорта эта проблема решается по-разному.

В частности, на магистральных и промышленных типах электровозов необходимую вентиляцию обеспечивают мотор-вентиляторы [6, 7]. Однако такой вариант, как и многие аналогичные, для условий отечественных шахтных электровозов неприемлем в силу жестких массогабаритных ограничений [8].

Следует отметить, что по видам охлаждения ТЭД подразделяются на:

- закрытые невентилируемые двигатели, к которым относятся большинство двигателей отечественных рудничных электровозов;
- двигатели с независимой вентиляцией от отдельных вентиляторов – двигатели зарубежных тяжелых электровозов;
- самовентилируемые двигатели с вентиляторами, устанавливаемыми на валу двигателя, – на отечественных тяжелых контактных электровозах.

В зависимости от вида системы вентиляции изменяются допустимые нагрузки ТЭД и их продолжительность (рис. 1). С усилением охлаждения ТЭД возрастает не только продолжительная мощность двигателя, но и часовая, правда в меньшей степени – 20–30 %. При независимом охлаждении можно несколько уменьшить размеры двигателя, но в целом за счет дополнительной вентиляторной установки размеры системы привода возрастают, возрастают также затраты, поэтому данный вариант на отечественных электровозах не нашел применения.



1 – естественное, 2 – независимое, 3 – самовентиляция

Рисунок 1 – Залежність допустимої навантаження від її тривалості при способах охолодження тягових електричних двигателів

На тяжелих отечественных електровозах масою 14 т применены самовентилируемые ТЭД за счет вентилятора, установленного на валу внутри двигателя, и через окна на концах двигателя происходит продувка. Это простое решение, позволившее более чем в 1,5 раза увеличить продолжительную мощность (кривая 3, рис. 1).

Вместе с тем, в этом варианте вместе с воздухом в двигатель попадает грязь, тем более, что вентиляционные окна расположены сверху, а в рудничных условиях присутствуют и вода, и пыль. В целях повышения надежности эта конструкция требует доработки.

Таким образом, наиболее перспективное направление повышения надежности ТЭД контактных электровозов – применение принудительной вентиляции для их охлаждения.

Опыт ведущих зарубежных электровозостроительных фирм США, Франции, Швеции, Германии показывает, что принудительное охлаждение позволяет на 30–35 % повысить мощность ТЭД без увеличения габаритов и веса. На электровозах, используемых на шахтах, охлаждение ТЭД возможно осуществить только при подаче воздуха во внутреннюю полость двигателя.

В ходе продолжительных исследований, проводимых в научно-исследовательском институте (НИГРИ, г. Кривой Рог) в конце 70-х – в начале 80-х годов прошлого столетия было установлено, что одной из причин выхода из строя ТЭД была недостаточная их вентиляция, что приводило к перегреву обмоток и других частей двигателя. Предложенный вариант системы принудительной вентиляции ТЭД был несовершенен и практически нереален по ряду причин, в том числе:

- из-за больших габаритов, выходящих за пределы моторного отсека и таким образом, ограничивающих машинисту электровоза возможность обзора пути следования;

- из-за большого момента инерции вентиляционной установки, вызывающего необходимость применения сложной системы управления дополнительным приводом вентилятора для исключения его повреждений при отрыве токосъемного устройства от контактного провода и последующим восстановлением цепи питания.

В последние пять лет на отечественном рынке ТЭД для шахтных электровозов появились двигатели СТК-45 производства ПАО «НПП «Смелянский электромеханический завод» (г. Смела). Надежность этих двигателей по сравнению с аналогами, выпускаемыми ПАО «Электромашина», несколько выше. Но достигнуто

это в основном улучшенной пропиткой обмоток двигателей. Вентиляция же ТЭД осталась по-прежнему несовершенной, а стоимость этих образцов почти в два раза выше, чем производства ПАО «Электромашина».

Анализ конструкций ТЭД, разработанных зарубежными фирмами показывает, что наиболее реальными для отечественных условий разработки фирмы ASEA (Швеция), которая создала несколько адресных вариантов изготовления ТЭД для различных сцепных масс шахтных электровозов.

ТЭД фирмы ASEA мощностями 47 кВт (часовая) и 43 кВт (длительная) обладают следующими преимуществами:

- эффективная вентиляция от отдельных вентиляторов путем продувки в направлении коллектора, соединенного с двигателем гофрированной трубой;
- двигатель соединен с редуктором через упругие муфты с резиновыми прокладками;
- на валу ведущей шестерни устанавливается тормозное устройство;
- на редукторе установлен датчик скорости;
- заземляющая бронзовая щетка на валу колес.

На основании вышеизложенного, а также результатов исследований, представленных в [5, 8], объединенным научным коллективом Криворожского национального университета и Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского в 2007–2014 гг. был проведен этап работ по разработке предложений по желаемой конструкции тягового электродвигателя для рудничных электровозов типа К14. Для этого в лабораторных условиях был модернизирован серийно выпускаемый предприятием «Электромашина» тяговый двигатель ДТН-45М. Сделано это с целью унификации узлов двигателя и упрощения в последующем организации их серийного производства.

Основные отличия рекомендуемого двигателя от двигателя ДТН-45М следующие:

- применено принудительное охлаждение, позволившее увеличить мощность двигателя в продолжительном режиме в 3 раза;
- повышена безотказность работы двигателя;
- увеличен средний ресурс до списания в 1,5 раза;
- принята новая конструкция двигателя, которая должна предотвратить попадание масла из редуктора в его внутреннюю полость, а также исключить повреждение катушек главных и добавочных полюсов из-за механических воздействий и проворачивание щеткодержателей щеточного узла.

Новый двигатель предназначен для тягового электропривода рудничных контактных электровозов типа К14 в одиночном и спаренном режимах функционирования.

Основные параметры двигателя и вентиляторной установки для его охлаждения приведены в табл. 1. Общий вид двигателя рекомендуемой конструкции показан на рис. 1.

Выполнение ряда основных требований, предъявляемых к двигателям и в том числе показателя надежности, могут быть определены только при проведении длительных промышленных испытаний.

Эти положения необходимо принимать как основополагающие моменты при выборе тактики строения системы вентиляции и разработки алгоритмов управления ТЭД в анализируемых видах шахтных электровозов.

Таблица 1 – Технические параметры электродвигателя и вентиляторной установки

Наименование параметров	Единица измерения	Нормы ТЭД		Нормы вентиляторной установки
		Режим работы		
		Часовой	Продолжительный	
Мощность	кВт	45	36	1,5
Напряжение	В	250	250	250
Ток	А	204	163	-
КПД	%	88,2	88,3	-
Частота вращения	об/мин	1320	1420	2300
Частота вращения максимальная	об/мин	3000		-
Направление вращения	–	реверсивное		-
Исполнение по уровню взрывозащиты	–	РН		-
Степень защиты по ГОСТ 17494-72	–	IP52		-
Способ охлаждения по ГОСТ 20459-75	–	IC37		-
Способ возбуждения	–	последовательное		-
Давление	Па			350
Расход воздуха	м <sup>3</sup> /с			0,35

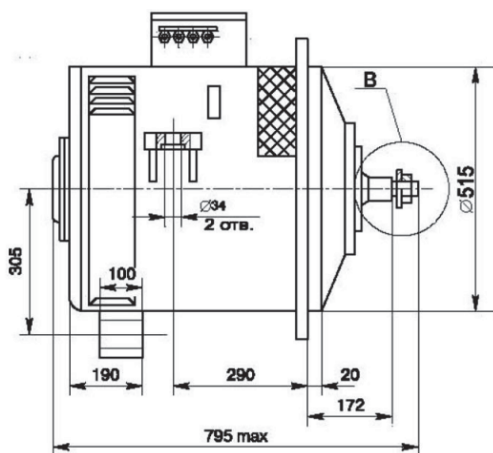


Рисунок 2 – Общий вид электрического двигателя рекомендуемой конструкции

**Выводы.** Проведенный анализ видов охлаждения ТЭД для условий рудничных контактных электровозов позволил выявить наиболее перспективные направления, заключающиеся в использовании дополнительно к естественной принудительной вентиляции. На основании исследований разработан модернизированный вариант ТЭД с принудительной вентиляцией, который в отличие от существующих обеспечивает улучшение показателей наработки на отказ с одновременным увеличением мощности продолжительного режима работы ТЭД.

### Список литературы

1. Дебелый, В. Л. Основные направления развития шахтного локомотивного транспорта [Текст] / В. Л. Дебелый, Л. Л. Дебелый, С. А. Мельников // Уголь Украины. – 2006. – №6. – С. 30–31. – ISSN 0041-5804.

2. Найш, Н. М. Современный железнодорожный транспорт [Текст] / Н. М. Найш, Ю. В. Белецкий, А. В. Маслов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – № 18 (207). – С. 79–84. – ISSN 1998-7927.
3. Черная, В. О. К вопросу анализа поврежденных тяговых двигателей шахтных электровозов [Текст] / В. О. Черная // Молодь: наука та інновації : I Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих учених: матеріали конференції. – Дніпропетровськ, 2013. – С. 421–422.
4. Вопросы повышения надежности системы мониторинга температурных режимов тяговых электрических двигателей рудничных электровозов [Текст] / О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, И. О. Синчук, Д. О. Кальмус, В. О. Черная // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2014. – № 4 (87). – С. 44–50. – ISSN 1995-0519.
5. Синчук, И. О. Исследование тепловых режимов тяговых электрических двигателей рудничных контактных электровозов [Текст] / И. О. Синчук, В. О. Черная // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика : наукове видання. – Кременчук, 2014. – № 1/2014 (2). – С. 98–100. – ISSN 2221-5160.
6. Пухов, Ю. С. Рудничный транспорт [Текст] / Ю. С. Пухов. – М. : Недра, 1991. – 238 с.
7. Теория электрической тяги [Текст] / В. Е. Розенфельд [и др.]. – М. : Транспорт, 1995. – 294 с. – ISSN 5-277-01462-4.
8. Черная, В. О. Анализ тепловых режимов тяговых электрических двигателей рудничных двоосных электровозов [Текст] / В. О. Черная, Я. В. Федорова, В. О. Черный // Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика. Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів. 20-24 квітня 2015 р. – Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2015. – С. 40.

**Viktorija Cherna, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*

**Development improved design direct current traction motors for mine contact electric**

The objective of the work is to improvement the design of the traction motor of an electric contact of mine with the need to improve the heat dissipation in the process of its operation on the electric rolling stock in the conditions of iron ore mines.

This article analyzes the existing methods of cooling the traction electric machines mine electric locomotives, their operating conditions in underground mining enterprises. The known structural variants of traction electric motors of domestic and foreign production, identified their advantages and disadvantages. We propose a perspective embodiment of the traction motor with forced cooling. The main advantages of the recommended structural variant of the traction electric motor.

Based on research developed an upgraded version of the traction motor with forced ventilation, which, unlike existing delivers improved performance MTBF while increasing power continuous operation of the engine.

**electric locomotives, traction motor, heating, ventilation, reliability**

Получено 25.11.15