

УДК 629.423.3 + 06

Н. С. Евтеев, Е. Е. Мирошниченко

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ МАСЛОНАСОСА ТЯГОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЭЛЕКТРОВОЗА

Аннотация. Большое количество отказов маслонасосов тягового трансформатора приходится на вспомогательный электропривод. В работе рассмотрены факторы и условия работы вспомогательного электропривода, влияющие на его ускоренное старение и выход маслонасосов из строя. С целью выявления причин возникновения отказов, проведён анализ диаграммы Исикавы. В ходе анализа выявлено, что большинство отказов приходится на асинхронный электродвигатель, вследствие его работы в сложных условиях. Для повышения ресурса работы маслонасоса предложена замена асинхронного двигателя на вентильно-индукторную машину.

Ключевые слова: вспомогательная электрическая машина, маслонасос, тяговый трансформатор, электродвигатель, вентильно-индукторная машина.

Для цитирования: Евтеев, Н. С. Повышение надёжности маслонасоса тягового трансформатора электровоза / Н. С. Евтеев, Е. Е. Мирошниченко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 3. – С. 61–66.

Для эффективного выполнения высоких показателей перевозки грузов, по всей сети железных дорог используются мощные грузовые электровозы, способные преодолевать длинные перегоны со сложным профилем пути, а также устойчивые к резким перепадам температур в широком диапазоне.

Основными локомотивами, выполняющими перевозки в грузовом движении на железных дорогах, электрифицированных переменным током, являются электровозы серии ВЛ80С и 2(3)ЭС5К «Ермак». Работоспособность большинства узлов и агрегатов таких электровозов обеспечивают вспомогательные устройства и механизмы, в состав которых входят вспомогательные электрические машины (ВЭМ).

На сегодняшний день в электровозах переменного тока в качестве ВЭМ используются асинхронные двигатели (АД). Вспомогательные АД представляют собой электрические машины, работающие на переменном трехфазном токе, в состав которых входит короткозамкнутый ротор. Электромашинные фазорасщепители или системы конденсаторного пуска дают возможность преобразовать однофазный ток в трехфазный [1].

Надёжность вспомогательных асинхронных машин (ВАМ) электровозов зависит от действия ряда факторов (рис. 1).

Большие нагрузки во время пуска, а также неустойчивость к скачкам напряжения в контактной сети оказывают существенное воздействие на ресурс работы ВАМ.

Процессы, которые протекают в силовых и вспомогательных цепях, отрицательно влияют на величину напряжения контактной сети. В связи с чем, напряжение на ВАМ может иметь отклонения от установленного уровня в пределах от –39% и до +25%. Допустимые же пределы колебаний соответствуют $\pm 10\%$.

Во время пуска электродвигателя может наблюдаться явление не симметрии напряжения и тока, вследствие чего происходит перегрев короткозамкнутой роторной обмотки, а затем ее выплавление.

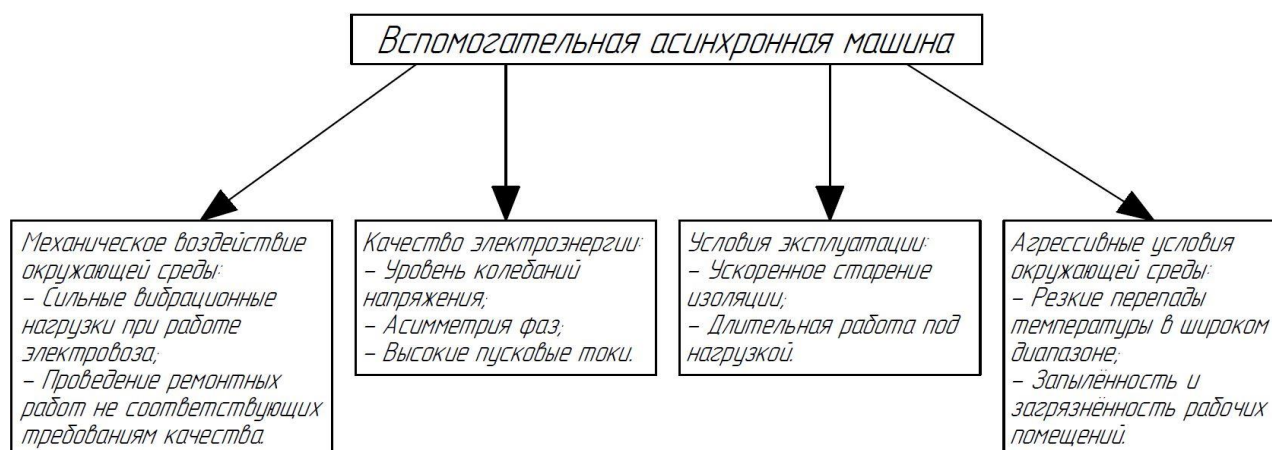


Рис. 1. Факторы, воздействующие на надёжность вспомогательных асинхронных машин

При подобном резком снижении напряжения на выходе фазорасщепителя, часто случается сдвиг фаз напряжения и тока. В таком случае, интервал, необходимый для запуска АД маслососа увеличивается. Это явление приводит к дополнительному нагреву обмотки статора, чем снижает ресурс её изоляции.

Помимо вышеуказанного, увеличенный интервал запуска двигателя приводит к перегреву, а также выплавлению обмотки на роторе, выкипанию смазки из подшипника, вследствие чего происходят короткие замыкания обмоток и заклинивание ротора.

Отрицательное воздействие на надёжность ВАМ оказывают условия внешней среды. Так, электрические машины электровозов могут эксплуатироваться в различных климатических зонах, следовательно, возможно изменение температуры окружающей среды в интервале от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

Плотное расположение оборудования в высоковольтных камерах (ВВК), а также трансформаторном помещении электровозов ВЛ80С и 2(3)ЭС5К затрудняет охлаждение ВАМ особенно в летний период. Данное обстоятельство приводит к пересыханию, либо перегреву изоляции, и далее к преждевременному её старению.

Во время эксплуатации ВАМ в зимний период на изоляционные материалы обмоток оказывает влияние повышенная влажность. Причиной ее появления служат частые перепады температур. Увлажненная изоляция имеет меньшее сопротивление, поэтому при прохождении тока между витками обмотки возникает короткое замыкание, приводящее к пробое изоляции и последующему отказу двигателя.

Объектом исследования, проводимого в работе, служит АД маслососа тягового трансформатора (ТТ) для электровоза переменного тока.

Целью исследования является повышение эксплуатационной надёжности ВЭМ маслососа ТТ электровоза переменного тока.

Метод исследования представляет собой традиционный путь исследования надёжности, заключающийся в анализе статистических данных об отказах маслососов ТТ посредством построения диаграммы Исикавы.

В состав блока тягового трансформатора электровоза переменного тока входит ТТ и его маслосос с ВЭМ асинхронного типа, установленный сверху (рис. 2). ВЭМ состоит из трёхфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором. Блок ТТ на электровозе устанавливается по середине, между первой и второй ВВК, внутри трансформаторного помещения. На электровозах переменного тока маслосос ТТ подключается к общей электросхеме локомотива по трехпроводной системе «звезда» следующим образом: первая и вторая фазы асинхронной машины, называемые двигательными, подключаются к обмотке

собственных нужд ТТ; третья ее фаза, называемая генераторной, подключена к расщепителю фаз и возникает при его запуске.



Рис. 2. Блок тягового трансформатора локомотива серии 2ЭС5К «Ермак» в сборе с маслонасосом

По результатам анализа статистической информации [2] определены основные предполагаемые дефекты маслонасосов ТТ в период за 2019 – 2020 гг., представленные в табл.

Таблица

Статистика дефектов маслонасосов ТТ в период за 2019 – 2020 гг.

Тип отказа	Количество отказов за год	
	2019 г.	2020 г.
Межвитковое замыкание обмоток	4	2
Пробой изоляции обмоток	3	3
Излом вала ротора	2	2
Разрушение подшипника	1	3
Короткое замыкание обмотки статора	2	1
Трещина крыльчатки	1	2
Заклинивание ротора	-	1
Проворот ротора	-	1

С целью установления причин и факторов, оказывающих влияние на отказы АД маслonaсосов ТТ, произведено построение диаграммы Исикавы для основной группы дефектов (рис. 3). Диаграмма Исикавы в данном случае позволяет выстроить логическую цепочку и структурировать предполагаемые причины возникновения неисправностей в маслonaсосах ТТ для получения пошагового плана по их устранению.

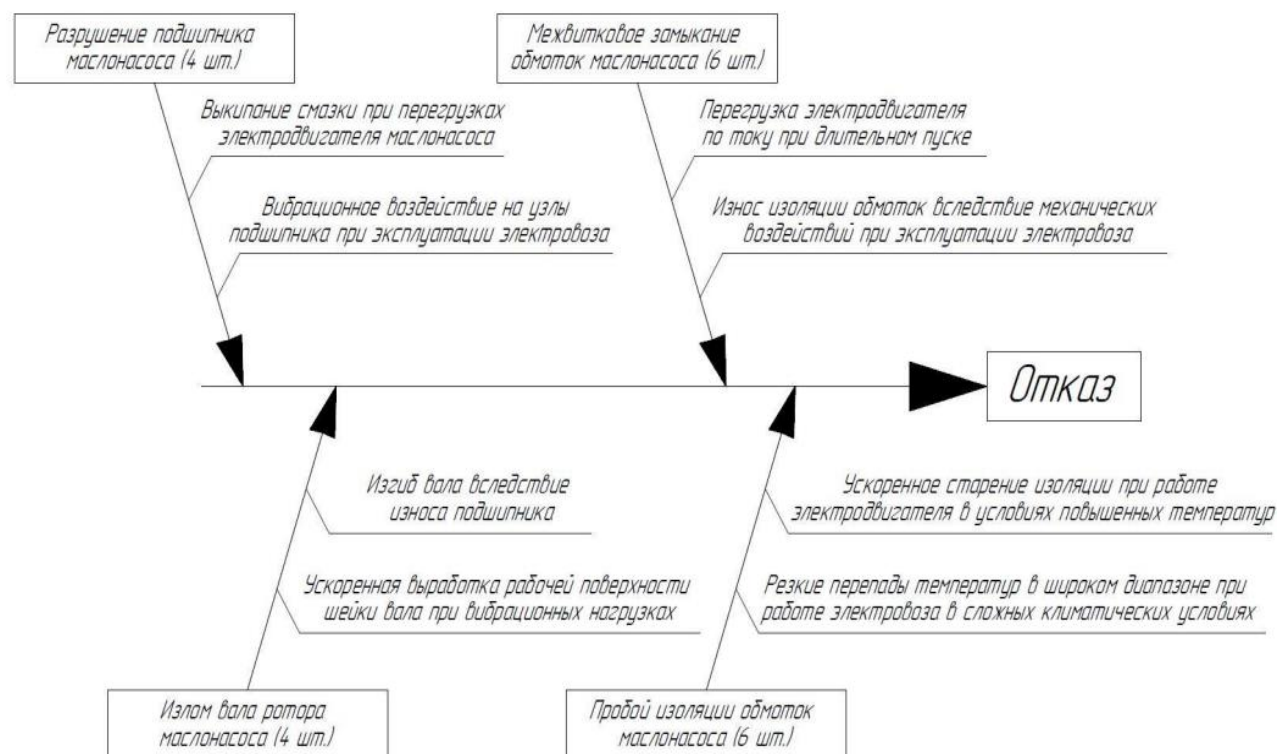


Рис. 3. Диаграмма Исикавы для дефектов, которые привели к неисправности

Анализ диаграммы показал, что отказы маслonaсосов ТТ, связанные с выходом из строя АД, происходят вследствие температурных нагрузок и ускоренного старения изоляции при увеличении времени пуска электродвигателя из-за скачков напряжения в контактной сети, и агрессивной среды работы электродвигателя с высокими вибрационными нагрузками.

С целью повышения надёжности маслonaсосов ТТ, рассматривается возможность замены АД маслonaсоса на вентильно-индукторную электрическую машину (ВИМ).

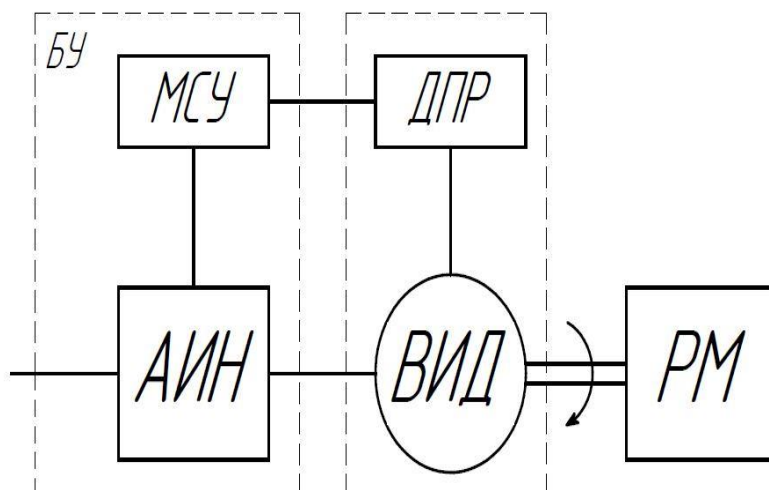
ВИМ не имеет роторной обмотки, в связи с чем у таких машин отсутствуют проблемы с повреждением изоляции обмотки ротора, её старением, а также перегревом ротора [3].

Фазные катушки статора ВИМ обладают высокой жёсткостью, что является преимуществом конструкции при использовании электрической машины в условиях постоянных механических воздействий и вибраций при движении электроваза [3].

Фазные обмотки статора ВИМ независимы друг от друга, тогда в случае аварийной ситуации, например, повлекшей обрыв одной из фаз, существует возможность дальнейшей работы электрической машины на исправных фазах.

Ещё одним преимуществом использования ВИМ перед асинхронной машиной является её автономность. Так, благодаря подключению к однофазному постоянному току, используя только обмотку собственных нужд ТТ и выпрямитель, возможно отказаться от использования фазорасщепителя в цепи питания маслonaсоса, повысив стабильность его работы.

На рис. 4 показаны основные структурные элементы вспомогательного вентильно-индукторного привода электроваза.



*АИН – автономный инвертор напряжения; МСУ – микропроцессорная система управления;
БУ – силовой блок управления; ДПР – датчик положения ротора;
ВИД – вентильно-индукторный двигатель; РМ – рабочий механизм (маслонасос).*

Рис. 4. Структурные элементы вспомогательного вентильно-индукторного привода для электровоза

Выводы.

Исходя из анализа статистических данных с использованием диаграммы Исикавы заключено, что возникает необходимость повышения эксплуатационной надежности ВЭМ маслонасосов ТТ электровозов переменного тока.

Применение ВИМ в составе маслонасоса способно значительно повысить его надежность, за счёт отсутствия основных недостатков АД, вызывающих отказы, связанные с электрической частью рассматриваемого узла. ВИМ обладает всеми необходимыми качествами для обеспечения долговечной работы маслонасоса ТТ, в том числе автономностью, так как имеется возможность питания постоянным током без участия фазорасщепителя.

Библиографический список

1. **Ольховатов, Д. В.** Разработка энергоэффективного асинхронного электропривода мотор-вентилятора электровоза / Д. В. Ольховатов, А. В. Шевкунова // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2023. – №3 (59). – С. 46–55.
2. **Губарев, П. В.** Анализ надежности узлов электровозов по Северо-Кавказской железной дороге за 2016-2019 гг. / П. В. Губарев, А. С. Шапшал, А. С. Курочкин // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2021. – Вып. 3. – С. 69–73.
3. **Ворон, О. А.** Обоснование использования вентильно-индукторных электрических машин для управления потоком энергии рекуперации электрического подвижного состава / О. А. Ворон, В. В. Сироткин, А. Д. Петрушин // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2023. – Т. 66. – №4. – С. 34–39.

N. S. Evteev, E. E. Miroshnichenko

INCREASING THE RELIABILITY OF THE OIL PUMP OF THE TRACTION TRANSFORMER OF AN ELECTRIC LOCOMOTIVE

Abstract. A large number of failures of traction transformer oil pumps are due to the auxiliary electric drive. The paper examines the factors and operating conditions of the auxiliary electric drive that affect its accelerated aging and failure of oil pumps. In order to identify the causes of failures, an analysis of the Ishikawa diagram was conducted. The analysis revealed that most failures are due to the asynchronous electric motor, due to its operation in difficult conditions. To increase the service life of the oil pump, it is proposed to replace the asynchronous motor with a valve-induction machine.

Keywords: auxiliary electric machine, oil pump, traction transformer, electric motor, switched-reluctance machine.

For citation: Evteev, N. S. Increasing the Reliability of the Oil Pump of the Traction Transformer of an Electric Locomotive / N. S. Evteev, E. E. Miroshnichenko // Trudy Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobsenia. – 2024. – № 3. – P. 61–66.

Сведения об авторах

Евтеев Никита Сергеевич

Ростовский государственный
университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,
аспирант,
e-mail: evteev200005@mail.ru

Мирошниченко Екатерина Евгеньевна

Ростовский государственный
университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: ekaterinailjasova@rambler.ru

Information about the authors

Evteev Nikita Sergeevich

Rostov State Transport University (RSTU)
Chair «Car and Car Economy»,
Graduate Student,
e-mail: evteev200005@mail.ru

Miroshnichenko Ekaterina Evgenievna

Rostov State Transport University (RSTU)
Chair «Traction Rolling Stock»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor,
e-mail: ekaterinailjasova@rambler.ru