

ПОВЫШЕНИЕ КЛАССА ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТКИ ЯКОРЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Жанаев Темирлан Булатович

janaevtima@gmail.com

Магистрант 2 курса Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева,
г.Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – А.К.Омарбеков

Тяговый двигатель электровоза предназначен для преобразования электрической энергии, получаемой от контактной сети, в механическую энергию. Двигатели - одна из наиболее нагруженных частей электровоза.

Тяговые двигатели могут работать также и в режиме генератора. Это свойство используется для электрического торможения. Если электроэнергия, вырабатываемая при вращении ТЭД, гасится на тормозных реостатах, это называется реостатным торможением. Если электроэнергия возвращается в контактную сеть, то такое торможение называется рекуперативным.

На неавтономных локомотивах, которыми являются электровозы, для питания тяговых двигателей используется электроэнергия, вырабатываемая на электростанциях и передаваемая ТЭД по линиям электропередачи через тяговые подстанции и контактную сеть. Будучи подключенным к электростанции, то есть практически неограниченному источнику энергии, электровоз может развивать повышенную мощность, ограниченную только мощностью ТЭД. Поэтому мощность электровоза почти в 2 раза больше, чем тепловоза равной массы.

Проведем анализ внеплановых ремонтов электровозного парка АО «НК «КТЖ».

На рисунке 1 представлена динамика распределения внеплановых ремонтов по электровозному парку за 2018 год.

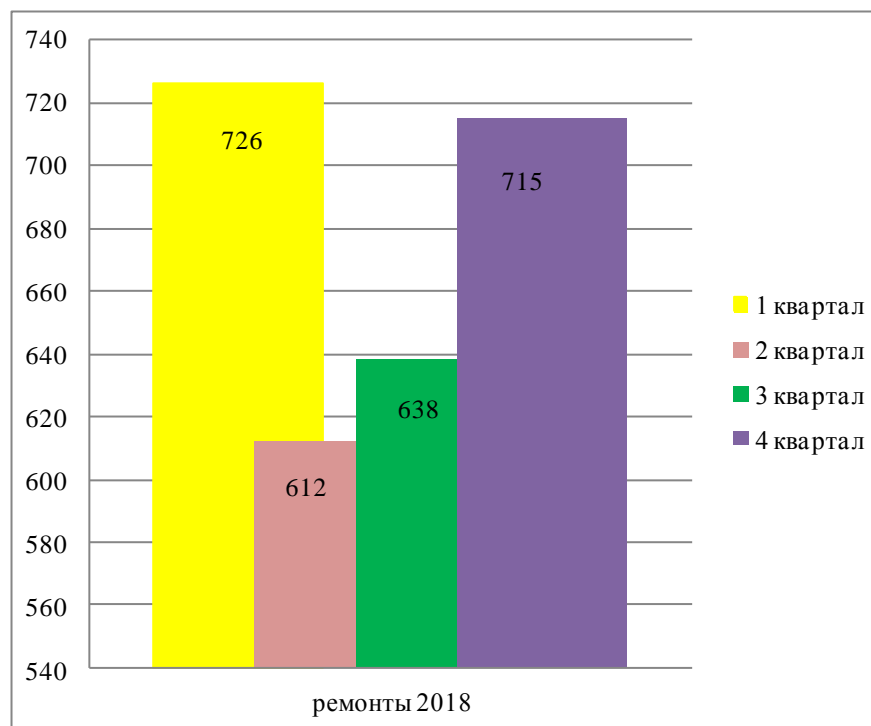


Рисунок 1 – Динамика внеплановых ремонтов за 12 месяцев 2018 года

Как видим из графика, самое большое количество внеплановых ремонтов электровозов пришлось на 1 квартал 2018 года, а самое маленькое – на 2 квартал.

Причины, по которым электровозы становились на внеплановый ремонт, представлены на рисунке 2.

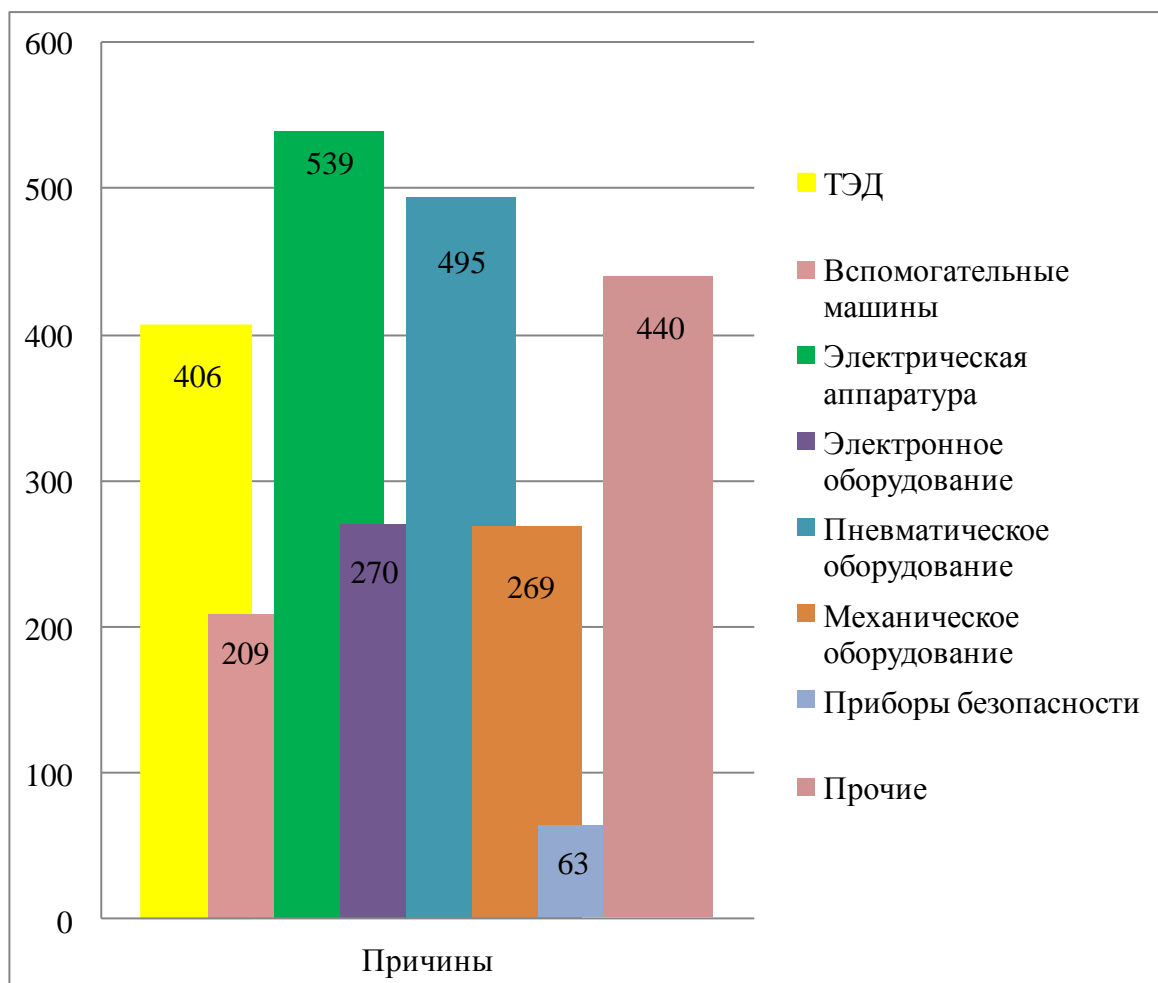


Рисунок 2 – Причины внеплановых ремонтов электровозов за 2018 год

Можно прийти к заключению, что больше всего электровозы становились на внеплановый ремонт из-за неисправной электрической аппаратуры, а меньше всего – из-за неисправных приборов безопасности.

На рисунке 3 представлена динамика распределения внеплановых ремонтов по электровозному парку за 2019 год.

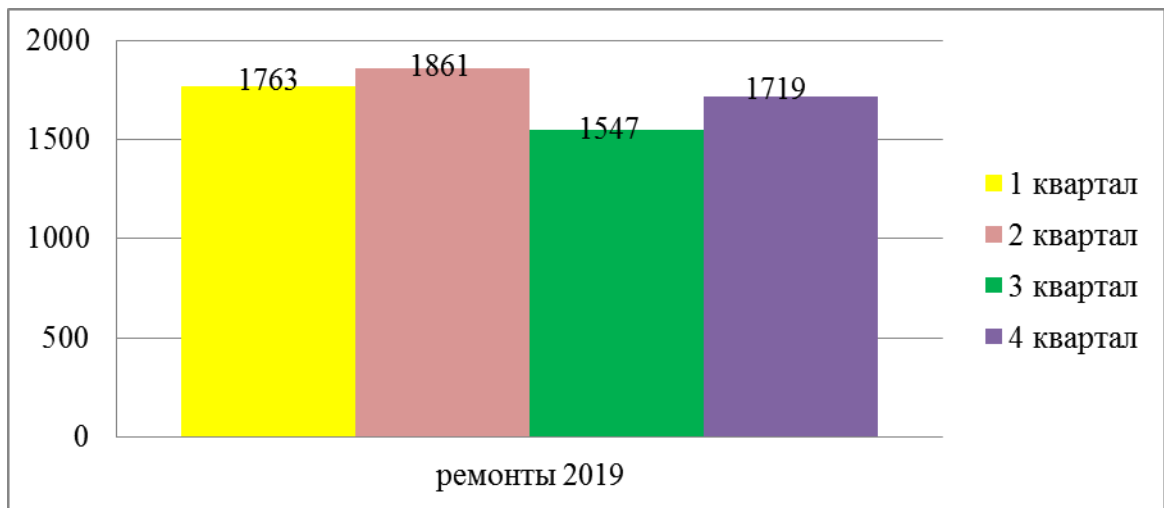


Рисунок 3 – Динамика внеплановых ремонтов за 12 месяцев 2019 года

Как видим из графика, самое большое количество внеплановых ремонтов электровозов пришлось на 2 квартал 2019 года, а самое маленькое – на 3 квартал.

Причины, по которым электровозы становились на внеплановый ремонт, представлены на рисунке 4.

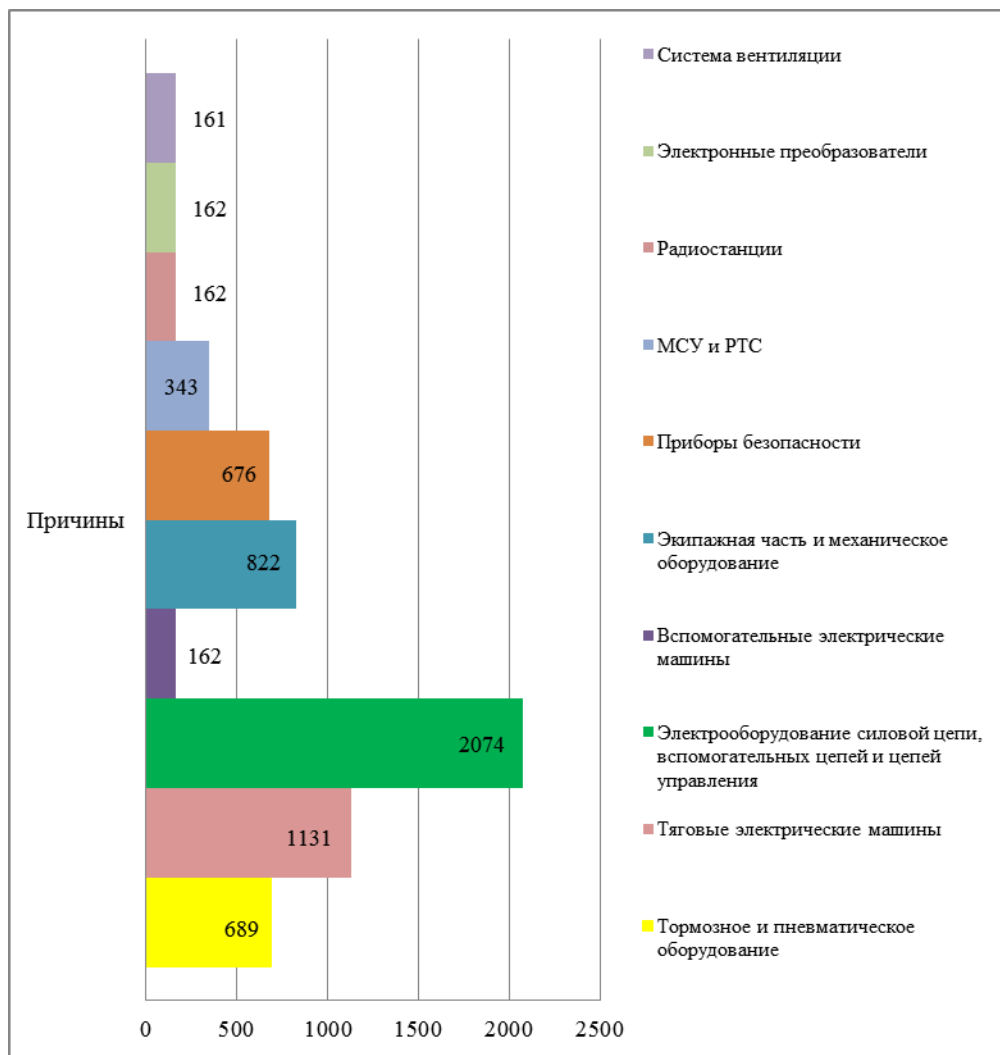


Рисунок 4 - Причины внеплановых ремонтов электровозов за 2019 год

Можно прийти к заключению, что больше всего электровозы становились на непла-новый ремонт из-за неисправностей электрооборудования силовой цепи, вспомогательных цепей и цепей управления, а меньше всего – из-за неисправностей в системе вентиляции.

На рисунке 5 представлена динамика распределения внеплановых ремонтов по электровозному парку за 2020 год.

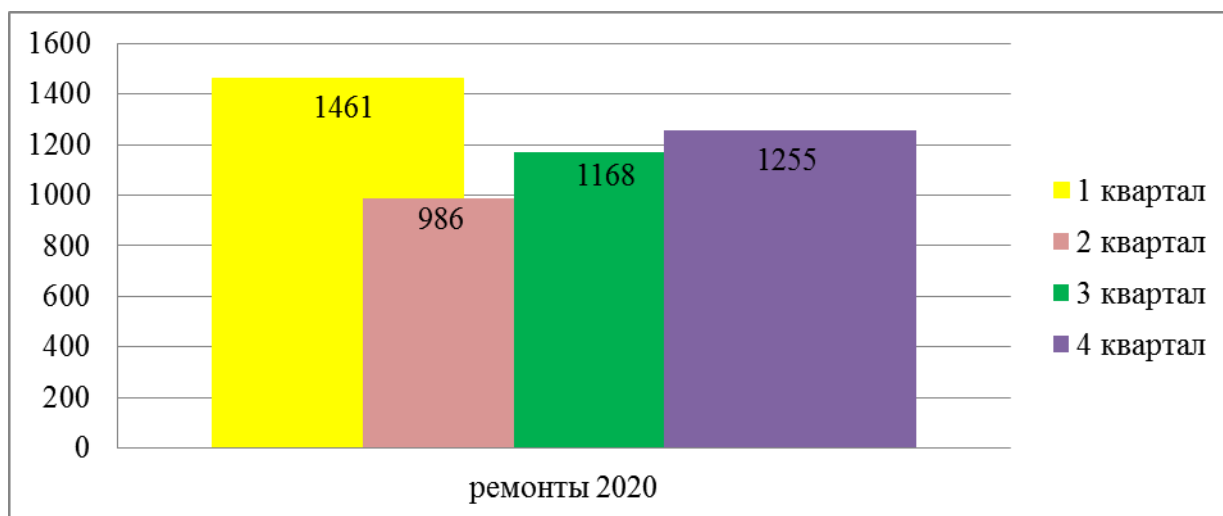


Рисунок 5 - Динамика внеплановых ремонтов за 12 месяцев 2020 года

Как видим из графика, самое большое количество внеплановых ремонтов электровозов пришлось на 1 квартал 2020 года, а самое маленькое – на 2 квартал.

Причины, по которым электровозы становились на неплановый ремонт, представлены на рисунке 6.

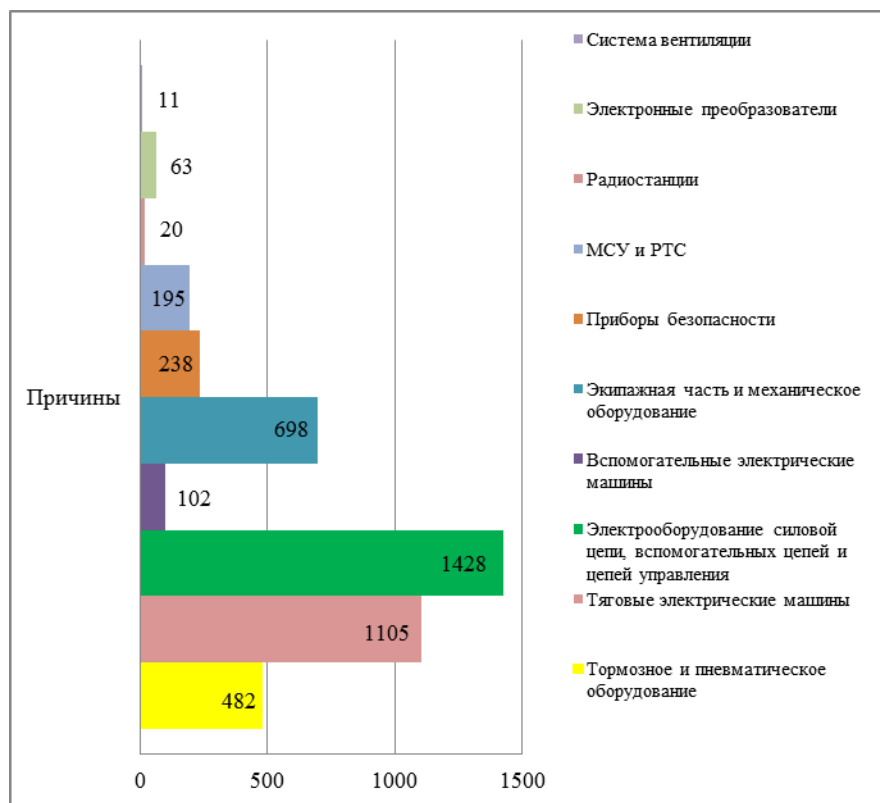


Рисунок 6 – Причины внеплановых ремонтов электровозов за 2020 год

Можно прийти к заключению, что больше всего электровозы становились на непла-новый ремонт из-за неисправностей электрической аппаратуры, а меньше всего – из-за неисправностей в системе вентиляции.

По данным службы локомотивного хозяйства АО «НК «КТЖ», среди главных причин выхода из строя тяговых двигателей (ТЭД) — пробой изоляции якоря из-за превышения допустимых значений тока, причем тепловозные двигатели повреждаются чаще, чем электровозные. Объясняется это тем, что ток нагрузки у тепловозных ТЭД приблизительно в два раза больше, чем у электровозных, соответственно, и температуры обмоток разные.

В наибольшей степени пробой подвергается электрообмотка якоря, так как ее изоляция имеет более невысокий класс нагревостойкости (F) по сопоставлению с обмоткой полюсов (H). Такая поломка ТЭД относится к наиболее трудоемким повреждениям и требует капитального ремонта с заменой якоря.

В настоящее время вероятно удлинить время работы изоляции или повысить мощность двигателей через модернизации обмотки якоря, а именно - заменой при заводском ремонте имеющейся изоляции класса нагревостойкости F на изоляцию класса H.

Изоляционные системы, используемые разными изготовителями тяговых электродвигателей, возможно систематизировать по видам двигателей, и по типу установки корпусной изоляции:

1. Электрообмотка якоря может быть размещена на роторе, как в двигателях постоянного тока, или на статоре, в двигателях переменного тока.

2. Для изоляции может использоваться метод вакуум-нагнетательной пропитки (VPI), аналогично метод на базе предварительно пропитанных лент (RR).

3. Для корпусной изоляции может применяться пропиточная смола на базе силикона, ненасыщенных полиэфиримидов, эпоксидки или полиэфира.

Имеется большое количество разновидностей изоляционных материалов для применения в двигателях разных систем.

Работа двигателей при высоких нагрузках означает, что изоляция обмоточных проводов не имеет возможности быть простой. Подбор обусловлен воздействием изоляции на повышение термических характеристик, механической прочности, диэлектрической прочности, вероятностью скрепления с пропиточной смолой и, в некоторых случаях, устойчивостью к частичным разрядам.

VS 220 VF- провод прямоугольного сечения с волокнистой изоляцией. VS 220 VF – эмалированный медный провод прямоугольного сечения, с изоляцией из весьма тонких стеклянных и полиэфирных волокон, пропитанных полиамидимидной смолой.

Провод VS 220 VF имеет весьма утонченный слой изоляции, чтобы употреблять его в катушках тяговых двигателей взамен изоляции из полиимидной пленки. Использование - ТЭД и обмотка роторов.

VS 240 VF - провод прямоугольного сечения с волокнистой изоляцией. VS 240 VF – эмалированный медный провод прямоугольного сечения с изоляцией на базе полиимида и с добавочной изоляцией из очень тонких стеклянных и полиэфирных волокон, пропитанных полиамидимидной смолой.

Использование - ТЭД и обмотка роторов, высокотемпературные высоковольтные вращающиеся машины.

VS 240 - провод прямоугольного сечения с волокнистой изоляцией. VS 240 – эмалированный провод прямоугольного сечения, с изоляцией на базе полиимида. Наружное покрытие из пропитанных полиимидным лаком стеклянных и полиэфирных волокон. Использование - электрообмотка статоров и роторов, высокотемпературные высоковольтные двигатели.

Кроме того, нужно обозначить слюдяные ленты для VPI технологии, которые удовлетворяют запросам к пазовой изоляции фронтальных долей обмотки, а именно: имеют высокую гальваническую надежность, хорошие термические характеристики, располагают стойкостью к коронному разряду, скоро и легко пропитываются, отлично сдерживают пропиточ-

ные материалы (без вытекания), правильно накладываются, без складок, могут заматываться при помощи высокопроизводительных станков или вручную, всецело совместимы с подходящими системами смол.

Эластичные материалы.

Ключевым требованием, предъявляемым к эластичным материалам, используемым в пазовой изоляции в любых видах двигателей, является длительная работа при высоких рабочих температурах. Это продиктовано потребностью выдерживать жесткие термомеханические обстоятельства эксплуатации.

Созданные для этих целей ламинаты, представляются сочетанием полиимидных пленок, стеклоткани и арамидной бумаги.

Ламинаты владеют исключительными данными по стойкости к тепловому удару, замечательными адгезивными свойствами, позволяют материалам с высокими рабочими показателями соответствовать возрастающим требованиям, предъявляемым к тяговым двигателям.

Ленты бандажные служат для обвязки коммутаторов и незакрепленных катушек в электродвигателях постоянного тока для противоборства крутящим силам. В дополнение к термомеханической долговечности, источник должен выдерживать усталостные и другие нагрузки из-за изменяющихся условий эксплуатации.

Исключительные показатели в классе С имеет интенсивная Кевларом лента, обеспечивающая большой резерв прочности для двигателей, при этом занимает мало места и снижает неглубокий разряд.

Данный источник представляется подходящим для обеспечения непрерывного легкого промежутка при высоких скоростях в устройствах переменного тока с инвертным приводом, в которых применяется ротор с неизменными магнитами.

Для обмотки якоря предполагается употреблять новую изоляцию. Изоляция представляет собой систему, состоящую из слюдяной ленты и пропиточного компаунда. материал КП-99ИД, содержащий класс нагревостойкости Н, — это состав некрепкого олигоэфиризоциануратимида и эпоксидки в олигоэфиракрилате. материя обладает высочайшей диэлектрической характеристикой и внушительной цементирующей способностью, невысокой вязкостью уже при температуре 35 °С, что гарантирует внушительную глубину проникновения.

Слюдяная лента марки ЛСНЭ представляет собой композицию из слюдяной бумаги и стеклоткани, скрепленных эпоксидным видоизмененным связующим. Она имеет высочайшие диэлектрические характеристики из-за высокого слюдяного барьера.

Слюдинитовая лента вместе с компаундом КП-99ИД составляет систему изоляции класса нагревостойкости Н для технологии вакуум-нагнетательной пропитки. Эта изоляция допускает работу ТЭД с превышением температуры обмотки якоря 160 °С (для изоляции класса нагревостойкости F допускаемое преобладание температуры обмотки якоря составляет 140 °С). подобный ресурс возможного превышения температуры разрешает либо основательно удлинить время работы изоляции, либо увеличить токовые нагрузки двигателя и, соответственно, мощность тяги локомотива.

Чтобы спрогнозировать вероятное повышение ресурса ТЭД, достаточно воспользоваться связью срока работы изоляции от температуры с учетом неравномерности термического состояния обмотки якоря в эксплуатации (рисунок 7)

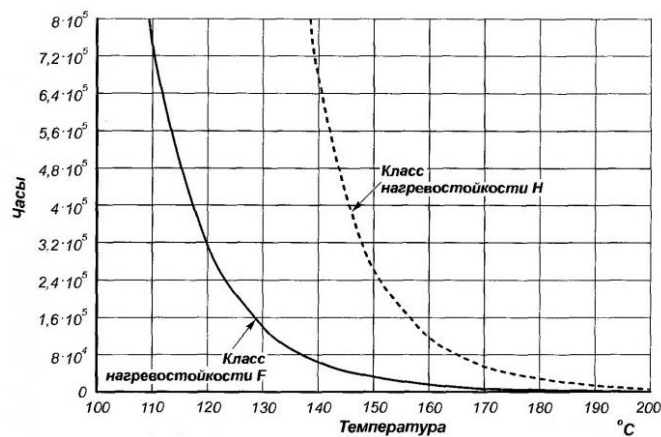


Рисунок 7 – Линии регрессии для изоляции классов нагревостойкости F и H

Из графика видно, что источник изоляции класса нагревостойкости H, в подчиненности от нагрева, значительно выше, чем у изоляции класса F. Поэтому, если основной источник изоляции обмотки оставить прежним, то можно увеличить допускаемые токи двигателя при штатном охлаждении, а соответственно, и мощность тяги локомотива.

Как уже говорилось, исследование эксплуатации ТЭД показывает, что лимитирующей по нагреву представляется электрообмотка якоря. следовательно только она будет предопределять время работы изоляции и допустимые токовые нагрузки. Расчеты термического состояния и разрешенных токовых нагрузок двигателя, выполнялись для всего вероятного спектра скоростей хода машины, с определением издержек в его узлах и температур обмоток и коллектора.

Моделирование энергетических и тепловых процессов в тяговом двигателе показало, что при росте рабочей температуры обмотки якоря на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (со 106 до $126\text{ }^{\circ}\text{C}$), как это допускает изоляция класса нагревостойкости H, ток продолжительного режима ТЭД возможно повысить с 720 до 790 A при том же расходе воздуха на охлаждение (рисунок 8).

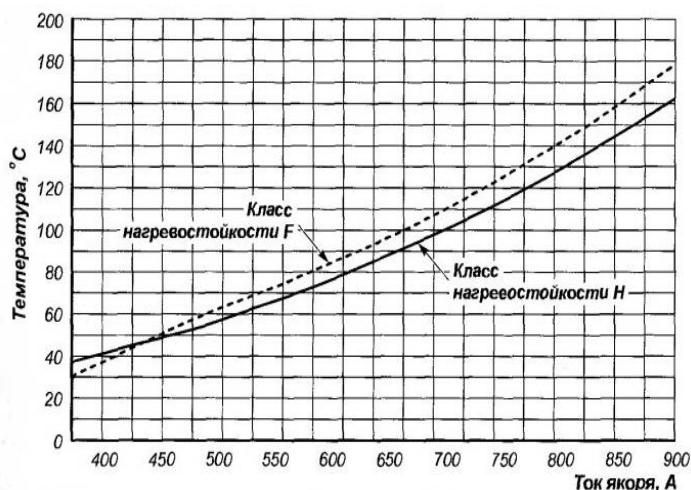


Рисунок 8 – Превышение температуры обмотки якоря ТЭД при использовании изоляции классов нагревостойкости F и H

Подобное повышение тока якоря разрешает соответственно нарастить момент ТЭД и мощность тяги расчетного режима на 10% (рисунок 9). Это равноценно увеличению весовой нормы поезда также на 10% .

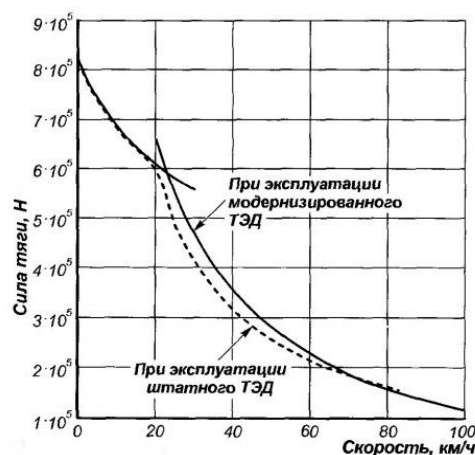


Рисунок 9 – Тяговая характеристика локомотива при применении в нем штатных и модернизированных ТЭД

Следовательно, смена изоляции обмотки якорей ТЭД может повысить их жизненный цикл и повысить результативность использования. Полученные итоги доказывают необходимость смены штатной изоляции якорных катушек ТЭД на новую изоляцию класса нагревостойкости Н.

Список использованных источников

1. Солдатенко Д.А. Влияние класса изоляции двигателей на тяговую характеристику локомотивов Интернет – источник <http://scbist.com/> (дата обращения 10.02.21)
2. Изоляционные и конструкционные композитные и полимерные материалы Интернет – источник <https://elmatec.ru/n/> (дата обращения 10.02.21)
3. Правила ремонта электрических машин электроподвижного состава, утвержденные приказом Акционерного общества «Национальная компания «Қазакстан темір жолы» от 30 мая 2003 года №334-Ц
4. Правила ремонта электрических машин электроподвижного состава, утвержденные приказом Министра транспорта и коммуникаций №ЦТ-ЦТВР- 4782