УДК 625.46

DOI 10.26118/2686-7036.2024.47.36.004

Фролов Михаил Дмитриевич
инженер путей сообщения
Пассажирское вагонное депо Санкт-Петербург-Московский
г. Санкт-Петербург, Россия

Анализ надёжности трамвайных вагонов г. Санкт-Петербурга

Аннотация. Статья посвящена анализу надёжности трамвайных вагонов в Санкт-Петербурге. В статье приведена статистика неисправностей основных деталей и узлов трамваев СПб ГУП «Горэлектротранс» за 2023-24 годы.

Ключевые слова: надёжность, трамвай, дефект, отказ, вагон.

Frolov Mikhail Dmitrievich
railway engineer
Passenger wagon depot St. Petersburg-Moskovsky
St. Petersburg, Russia

Reliability analysis of St. Petersburg tram cars

Abstract. The article is dedicated to the analysis of the reliability of tram cars in St. Petersburg. The article provides statistics on the malfunctions of the main parts and units of trams of St. Petersburg State Unitary Enterprise "GET" for 2023-24.

Keywords: reliability, tram, defect, malfunction, car

Введение. Цель исследования – определить наиболее уязвимые детали и узлы механической, электрической и электроизоляционной частей трамвая с учётом статистики неисправностей за 2023-24 гг. и оценить характер отказов с указанием их причин.

1 Надёжность деталей механической части трамвайных вагонов

На рисунках 1 и 2 представлены диаграммы, отображающие количество отказов деталей механической части трамваев по структурным подразделениям СПб ГУП «Горэлектротранс» за 2023 г. и первую половину 2024 г. (ТМ 1 – трамвайный парк №1, ТМ 3 – трамвайный парк №3 и т.д., СТТП – отдел эксплуатации трамвая совмещённого трамвайно-троллейбусного парка).

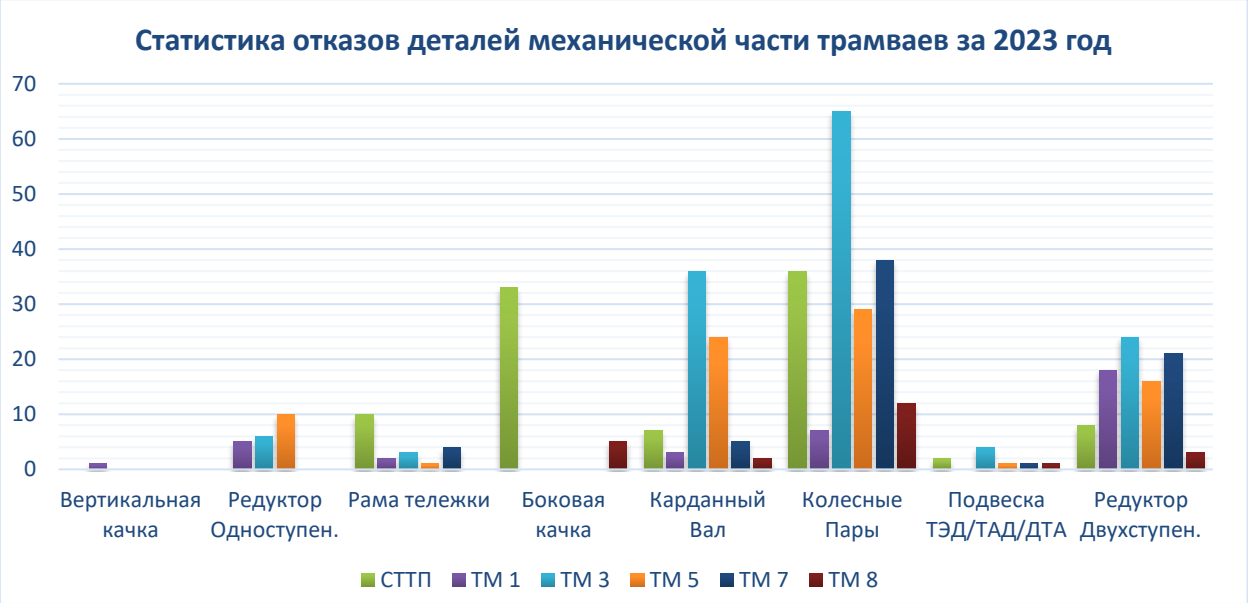

Рисунок 1 – Количество отказов деталей механической части трамваев в 2023 году

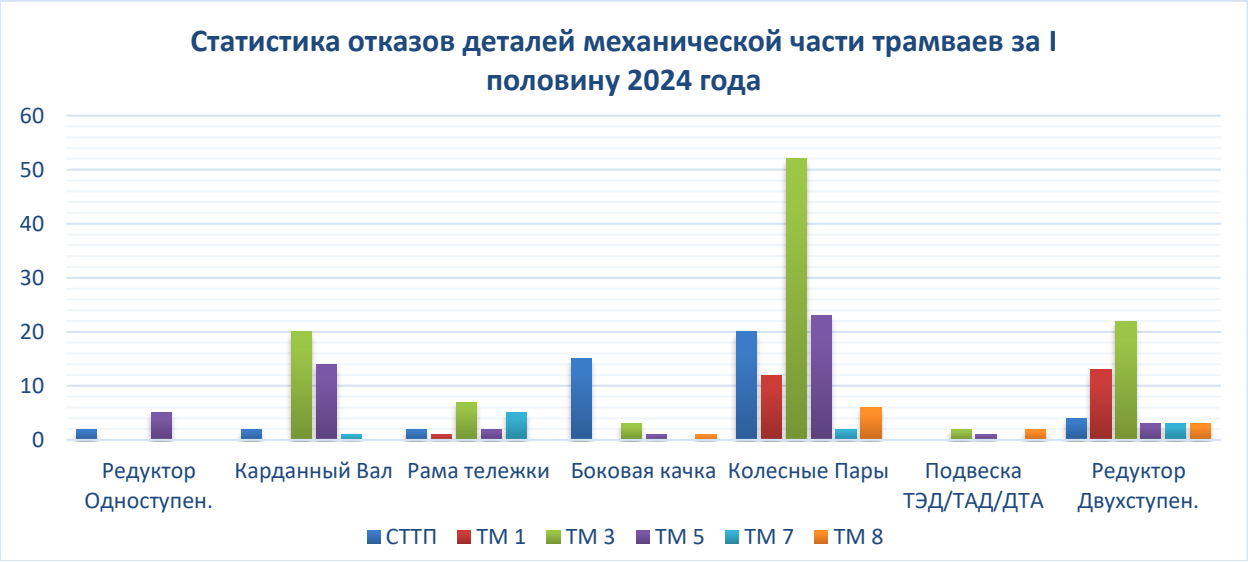

Рисунок 2 – Количество отказов деталей механической части трамваев в I пол. 2024 года

Наиболее уязвимыми деталями механической части трамваев являются колёсные пары – на их долю в 2023 году пришлось 42,2 % отказов от общего числа случаев, в I полугодии 2024 – 46,2 %. Наихудшие показатели у трамвайного парка №7 (55,1 % – 2023) и у трамвайного парка №8 (50 % – I полугодие 2024).

Основные причины отказов колёсных пар: износ подшипников, а именно их повышенный нагрев (41,7 % – 2023; 25,2 % – 2024), стопорение колёсных пар (16 % – 2023; 17,4 % – 2024), излом и ослабление стяжных болтов (11,2 % – 2023; 14,8 % – 2024), прокат, эллипсоидный износ, бой колеса (10,7 % – 2023, 15,7 % – 2024).

На втором месте по числу отказов механической части неисправности двухступенчатых редукторов и их муфт – 20,3 % в 2023 году и 19,3 % в I полугодии 2024 года. Наихудшие показатели у трамвайного парка №1 (50 % – 2023 и I полугодие 2024).

Основные причины отказов двухступенчатых редукторов: неисправное зацепление шестерни редуктора (23,3 % – 2023; 12,5 % – 2024), неисправность стакана ведущего вала (12,2 % – 2023; 12,5 % – 2024), износ зубьев шестерён (10,0 % – 2023; 10,4 % – 2024), неисправность крепления рычажного упора (2,2 % – 2023; 16,7 % – 2024), прочие неисправности редуктора (12,2 % – 2023, 14,6 % – 2024).

На третьем месте по числу отказов механической части неисправности карданных валов – 17,4 % в 2023 году и 14,9 % в I полугодии 2024 года. Наихудшие показатели у трамвайного парка №5 (29,6 % – 2023, 28,6 % – I полугодие 2024).

Основные причины отказов карданных валов: излом фланцев (28,6 % – 2023; 10,8 % – 2024), разрушение игольчатых подшипников (22,1 % – 2023; 24,3 % – 2024), обрыв карданного вала (14,3 % – 2023; 24,3 % – 2024), излом трубы карданного вала (3,9 % – 2023, 13,5 % – 2024).

2 Надёжность электрических машин

2.1. Надёжность асинхронных тяговых электродвигателей (АТД)

2.1.1. Анализ надёжности деталей механической части АТД

На рисунках 3 и 4 представлены диаграммы, отображающие количество отказов деталей механической части АТД вагонов по трамвайным паркам СПб ГУП «Горэлектротранс» за 2023 г. и первую половину 2024 г. соответственно.

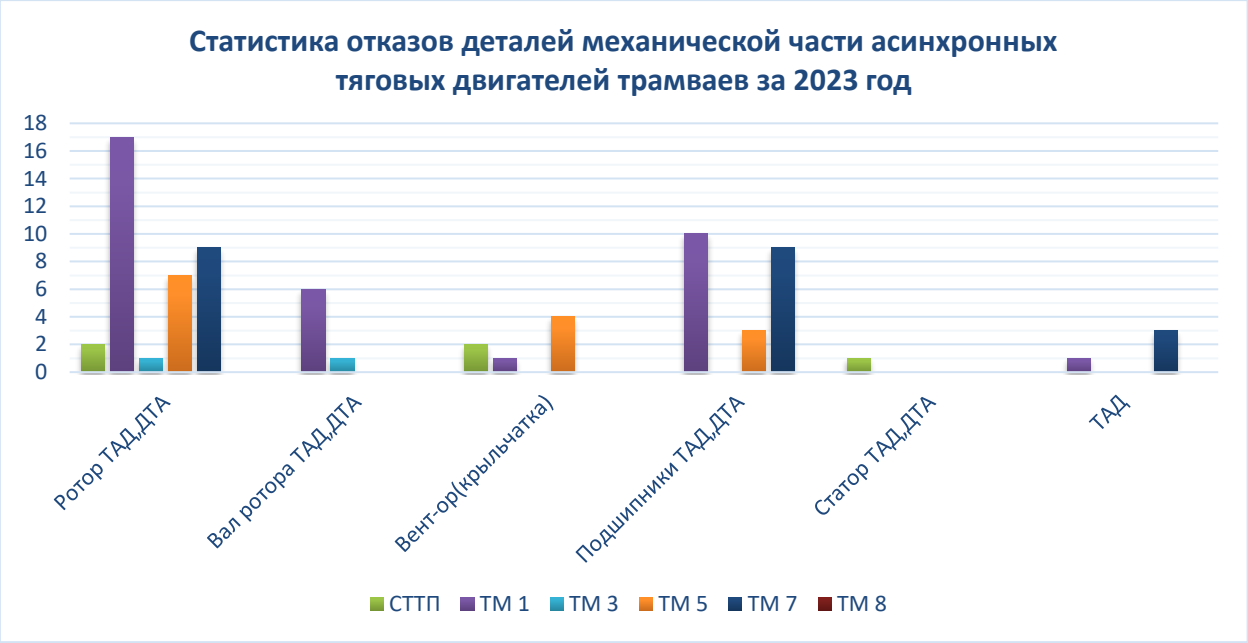

Рисунок 3 – Количество отказов деталей механической части асинхронных тяговых двигателей трамваев в 2023 году

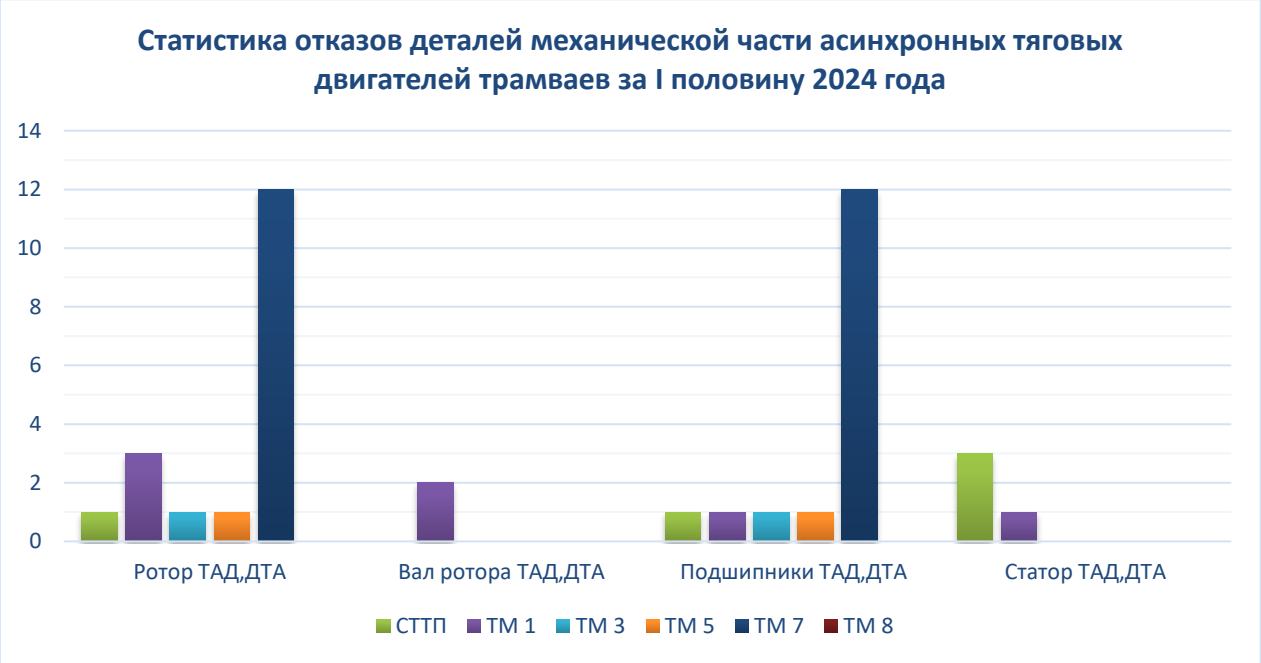

Рисунок 4 – Количество отказов деталей механической части асинхронных тяговых двигателей трамваев в I полугодии 2024 года

К механической части двигателя относят остов (статор), вал ротора с подшипниками, крыльчатку вентилятора. В 2023 году неисправности механической части АТД составили 13,9 % от всех отказов, в I полугодии 2024 – 10,6 %. Худший показатель в 2023 г. в трамвайном парке №5 (26,9 %), а в I полугодии 2024 данный антирейтинг возглавили отдел эксплуатации трамвая СТТП и трамвайный парк №5 (по 16,7 %).

Наиболее уязвимыми узлами механической части асинхронных тяговых двигателей трамваев являются роторы – на их долю в 2023 году пришлось 87,8 % от общего числа отказов, в I полугодии 2024 – 81,8 %. У нескольких парков (№3, №5 в 2023, №3, №5, №7 в 2024) отказы роторов являлись единственной неисправностью по механической части АТД.

Основные причины отказов роторов: износ и разрушение подшипников роторов (53,7 % – 2023; 72,7 % – 2024), износ вала ротора (17,1 % – 2023; 9,1% – 2024), ослабление вентилятора (крыльчатки обдува) в 12,2 % отказов в 2023 г.

Ослабление или проворачивание крыльчатки обдува происходит из-за механических ударов. Крыльчатку при ремонте закрепляют шпонкой или стопорным кольцом или заменяют. Причины неисправностей статоров АТД – повышенные нагрузки, неправильное крепление или низкое качество двигателя.

2.1.2. Анализ надёжности электроизоляционной конструкции АТД

На рисунках 5 и 6 представлены диаграммы, отображающие количество отказов электрической изоляции АТД вагонов по трамвайным паркам СПб ГУП «Горэлектротранс» за 2023 г. и первую половину 2024 г. соответственно.

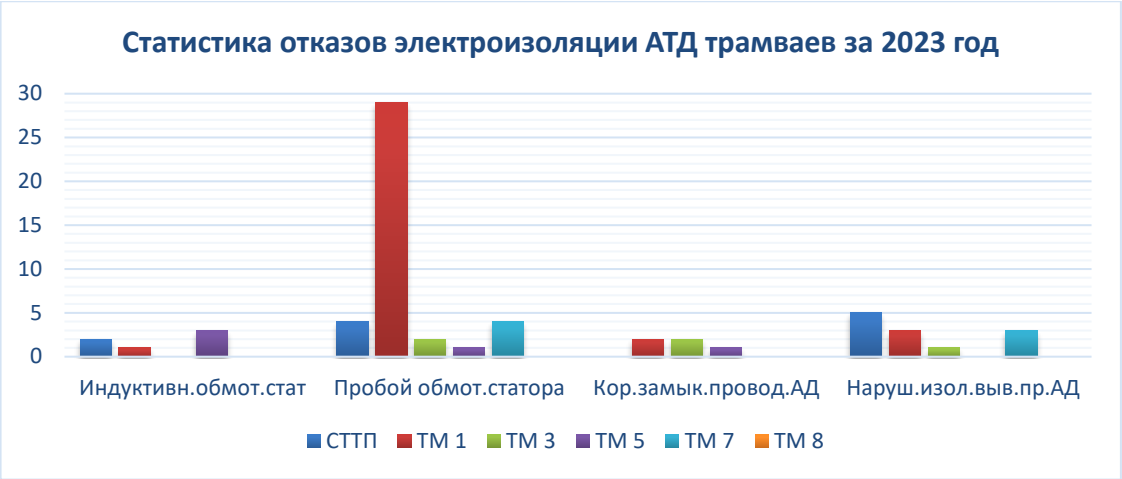

Рисунок 5 – Количество отказов электроизоляции АТД трамваев в 2023 году

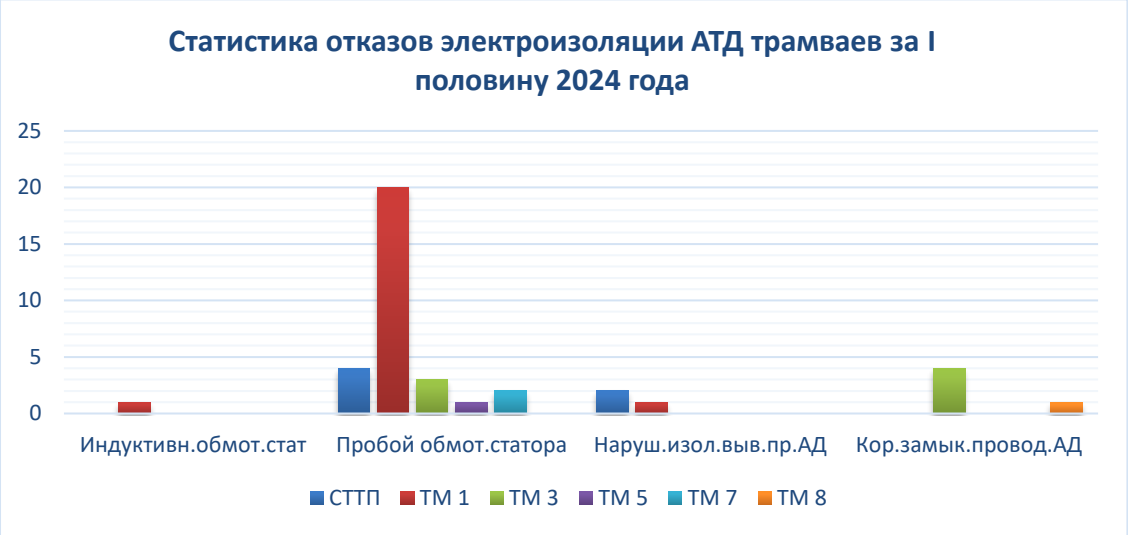

Рисунок 6 – Количество отказов электроизоляции АТД трамваев в I полугодии 2024 года

К неисправностям электрической изоляции двигателя относят пробой обмотки статора на корпус, нарушение изоляции выводных проводов, а также короткое замыкание проводов АТД. В 2023 году неисправности электроизоляционной конструкции АТД составили 21,4 % от всех отказов, в I полугодии 2024 – 18,8 %. Худший показатель в 2023 г. в трамвайном парке №1 (32,1 %), а в I полугодии 2024 года – в трамвайном парке №3 (35,0 %).

Наиболее частая неисправность электроизоляционной конструкции асинхронных тяговых двигателей трамваев – пробой обмотки статора на корпус вагона. На их долю в 2023 году пришлось 63,5 % от общего числа отказов, в I полугодии 2024 года – 76,9 %. Худший результат в 2023 году у трамвайного парка №1 (82,9 %), в 2024 – у трамвайных парков №№5 и 7, где эта неисправность являлась единственной по части электроизоляционной конструкции двигателей.

Следующая наиболее часто встречающаяся неисправность – нарушение изоляции выводных проводов АТД: 19 % в 2023 году, 12,8 % в I полугодии 2024 года. Худший результат в 2023 году у СТТП (45,5 %), в 2024 – у трамвайного парка №3 (57,1 %).

Основная причины неисправностей электрической изоляции – её повреждение из-за тяжёлых условий работы и недостаточной стабильности электрических свойств изоляционных материалов.

Основной причиной повреждения изоляции обмотки является резкое снижение электрической прочности под влиянием увлажнения обмотки, загрязнения поверхности обмотки, попадания в электродвигатель металлической стружки, металлической и другой проводящей пыли, наличия в охлаждающем воздухе паров различных жидкостей, продолжительной работы электродвигателя при повышенной температуре обмотки, естественного старения изоляции. Все эти факторы присутствуют при ежедневной эксплуатации трамвая в городской среде.

2.1.3. Анализ надёжности электрических соединений АТД

На рисунках 7 и 8 представлены диаграммы, отображающие количество отказов электрических соединений АТД вагонов по трамвайным паркам СПб ГУП «Горэлектротранс» за 2023 г. и первую половину 2024 г. соответственно.

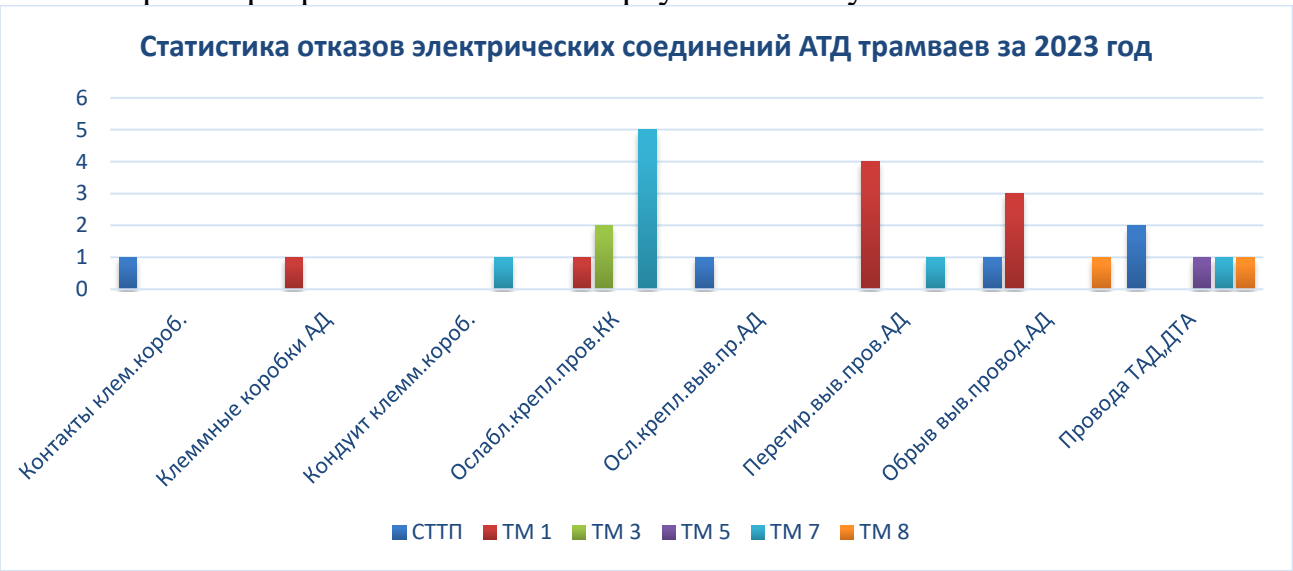

Рисунок 7 – Количество отказов электрических соединений АТД трамваев в 2023 году

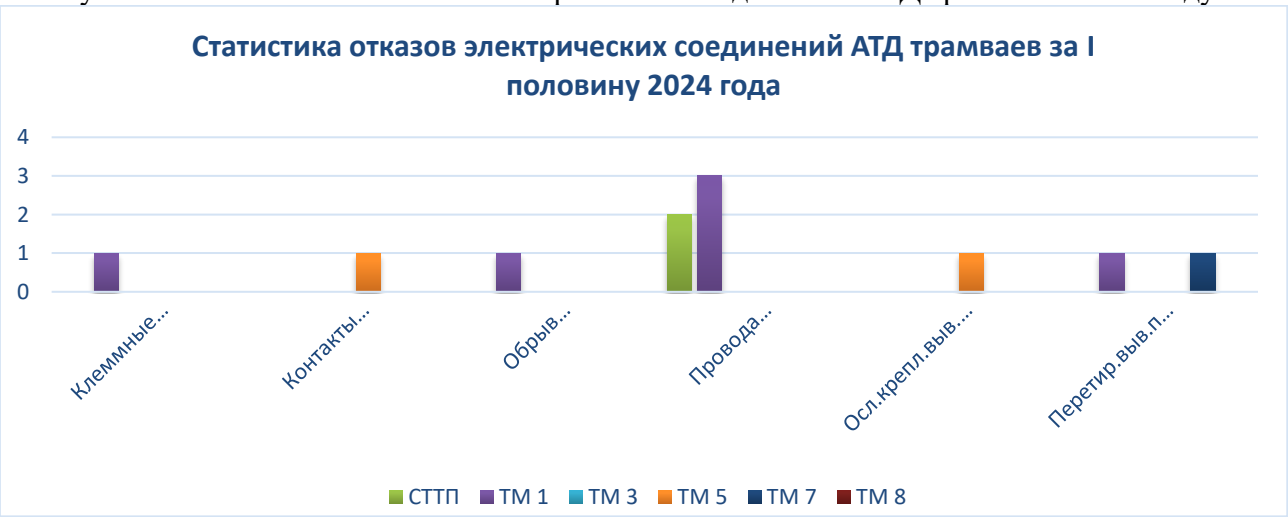

Рисунок 8 – Количество отказов электрических соединений АТД трамваев в I пол. 2024 года

К неисправностям электрических соединений двигателя относят нарушения целостности выводных проводов (перетирание, обрыв) ослабление крепления и нарушение контакта проводов, а также неисправности контактов в клеммной коробке АТД. В 2023 году неисправности электрических соединений АТД составили 9,2 % от всех отказов, в I полугодии 2024 – 5,3 %. Худший показатель в 2023 г. в трамвайном парке №8 (14,3 %), а в I полугодии 2024 года – в трамвайном парке №5 (15,4 %).

Наиболее частая неисправность электрических соединений двигателей – перетирание выводных проводов АТД. В 2023 году она составила 18,5 % от общего числа случаев, в I полугодии 2024 года – 18,2 %. Худший результат в 2023 году в трамвайном парке №1 (44,4 %), в 2024 – в трамвайном парке №7, где эта неисправность являлась единственной по части электрических соединений двигателей.

В 2023 превалировала такая неисправность, как ослабление крепления проводов клеммной коробки (8 случаев, 29,6 %). Худший показатель по этой неисправности в трамвайном парке №3, где она являлось единственной по части неисправностей электрических соединений АТД. Однако в первом полугодии 2024 такая неисправность больше не была выявлена ни в одном структурном подразделении, что говорит о повышении надёжности крепления выводов асинхронного двигателя.

Ещё одна часто встречающаяся неисправность электрических соединений – обрыв выводных проводов АТД: 18,5 % в 2023 году, 9,1 % в I полугодии 2024 года. Худший результат в трамвайном парке №8 и №5 (по 50,0 % соответственно в 2023 и первой половине 2024 года).

Перетирание и обрыв выводных проводов обмотки электродвигателя происходит из-за короткого замыкания или надлома в результате частых перегибов лобовых частей при обслуживании.

2.2. Надёжность тяговых электродвигателей постоянного тока (ТЭД)

2.2.1. Анализ надёжности деталей механической части ТЭД

На рисунках 9 и 10 представлены диаграммы, отображающие количество отказов деталей механической части ТЭД вагонов по трамвайным паркам СПб ГУП «Горэлектротранс» за 2023 г. и первую половину 2024 г. соответственно.

Рисунок 9 – Количество отказов деталей механической части ТЭД трамваев в 2023 году

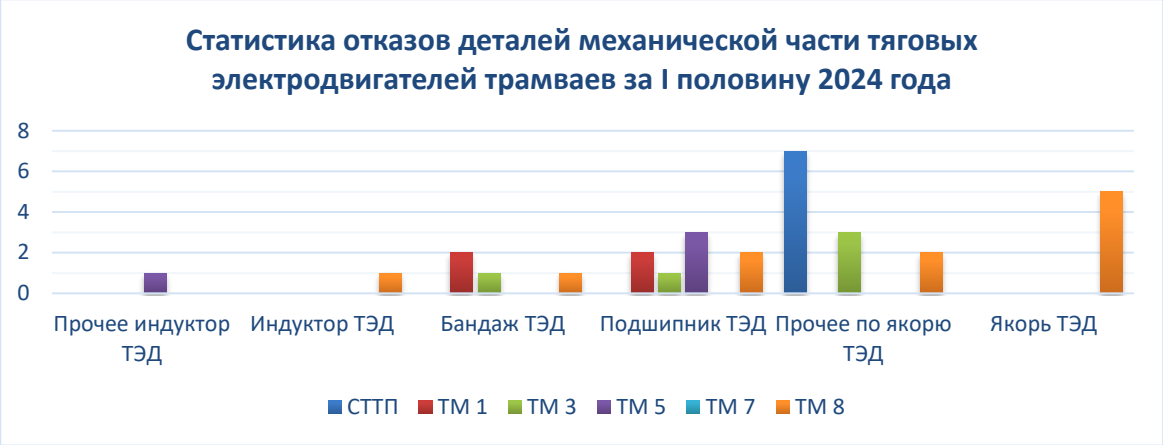

Рисунок 1.12 – Количество отказов деталей механической части ТЭД трамваев в I полугодии 2024 года

К механической части двигателя относят индуктор, подшипниковый щит, бандаж ТЭД, вал якоря, вентилятор ТЭД. В 2023 году неисправности механической части АТД составили 9,8 % от всех отказов, в I полугодии 2024 – 11,9 %. Худший показатель по итогам 2023 и I полугодия 2024 г. – в СТТП: 21,1 % и 36,8 % соответственно.

Наиболее уязвимыми узлами механической части тяговых двигателей постоянного тока являются подшипники ТЭД – 41,9 % отказов в 2023 году, 25,8 % – в I полугодии 2024. Худший результат в 2023 г. в трамвайном парке №7, в I полугодии 2024 г. – в трамвайном парке №5 (оба по 75,0 %).

На втором месте неисправности якоря ТЭД – 27,9 % в 2023 году, 16,1 % – в I полугодии 2024. Худший результат в 2023 г. в СТТП (100 %), в I полугодии 2024 г. – в трамвайном парке №8 (45,5 %).

Также довольно часто происходят отказы бандажей якоря ТЭД – 25,6 % в 2023 году, 12,9 % – в I полугодии 2024. Худший результат в 2023 и I полугодии 2024 г. в трамвайном парке №1 (57,1 % и 50 % соответственно).

Одна из основных причин отказов подшипников ТЭД – усталость поверхности и её разрушение (недостаточная вязкость смазки, неподходящий смазочный материал, плохая обработка, загрязнение, постоянная работа узла качения под нагрузкой). Эту неисправность нельзя обнаружить, но можно предупредить регулярным техобслуживанием сборочного узла и правильным подбором смазочного материала в нужном количестве.

2.2.2. Анализ надёжности электроизоляционной конструкции ТЭД

На рисунках 11 и 12 представлены диаграммы, отображающие количество отказов электрической изоляции тяговых электродвигателей постоянного тока по трамвайным паркам СПб ГУП «Горэлектротранс» за 2023 г. и первую половину 2024 г. соответственно.

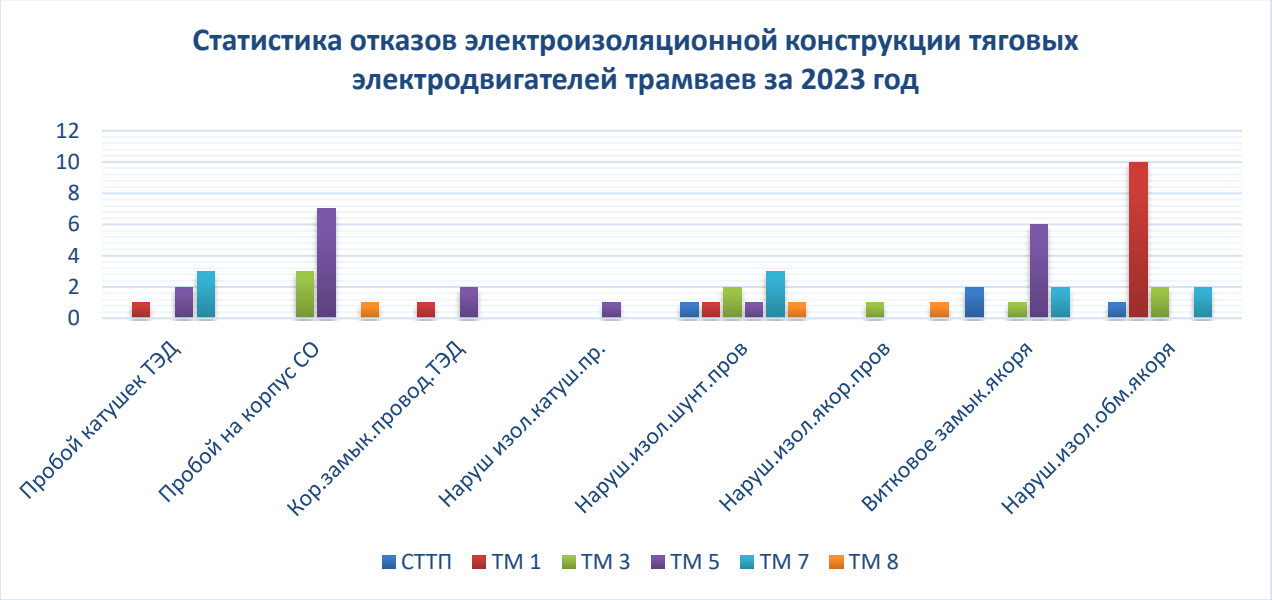

Рисунок 11 – Количество отказов электроизоляции ТЭД трамваев в 2023 году

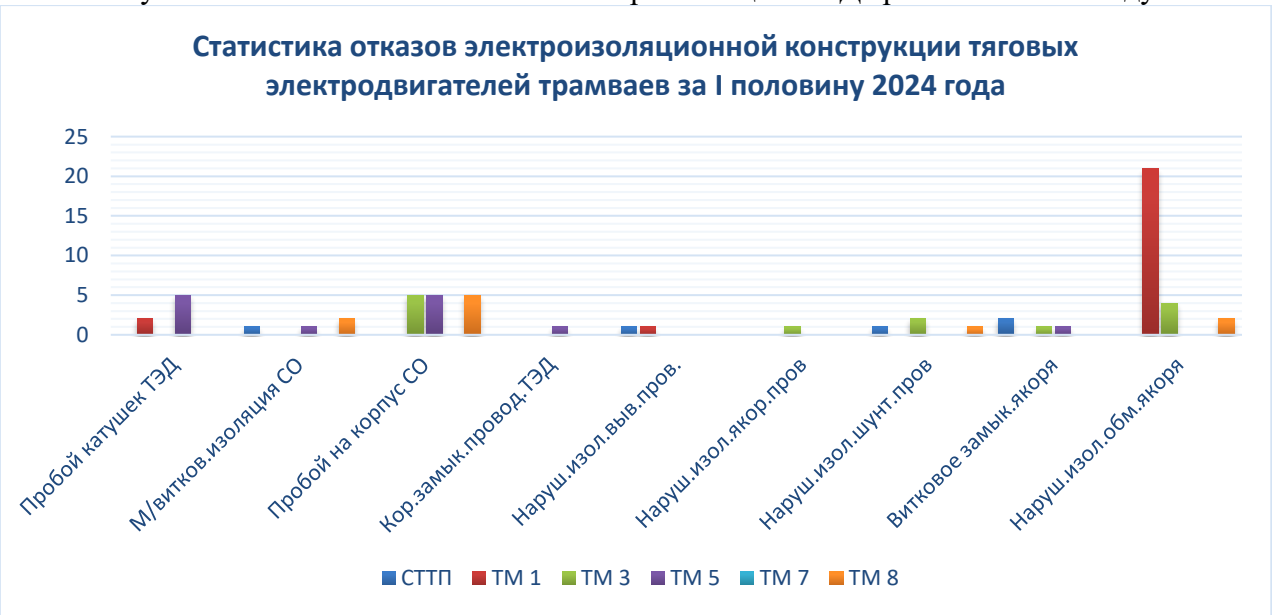

Рисунок 12 – Количество отказов электроизоляции ТЭД трамваев в I полугодии 2024 года

В 2023 году неисправности электроизоляционной конструкции ТЭД составили 13,3 % от всех отказов двигателей, в I полугодии 2024 – 27,3 %. Худший показатель в 2023 и в 2024 гг. в трамвайном парке №1: 24,5 % и 50,0 % соответственно.

Наиболее часто встречающаяся неисправность электроизоляционной конструкции тяговых электродвигателей постоянного тока – нарушение изоляции обмотки якоря. В 2023 году она составила 25,9 % от всех отказов, в I полугодии 2024 – 38,0 %. Худший результат в 2023 году и в I полугодии 2024 в трамвайном парке №1 – 76,9 % и 87,5 % соответственно.

На втором месте по относительной частоте случаев – пробой на корпус сериесной обмотки ТЭД: 19,0 % в 2023 году и 21,1 % в I полугодии 2024 года. Худший результат в 2023 году в трамвайном парке №5 (36,8 %), а в I полугодии 2024 – в трамвайном парке №8 (50,0 %).

Нарушение изоляции шунтовых проводов в 2023 году составили 15,5 % случаев, из них наихудший показатель в трамвайном парке №8: 33,3 %. В 2024 году эта неисправность составила лишь 5,6 % случаев.

Основные причины нарушения электрической изоляции электродвигателей постоянного тока такие же, как и у асинхронных – тяжёлые режимы работы, влажность, низкое качество изоляционных материалов.

2.2.3. Анализ надёжности коллекторно-щёточного узла ТЭД

На рисунках 13 и 14 представлены диаграммы, отображающие количество отказов коллекторно-щёточного узла ТЭД по трамвайным паркам СПб ГУП «Горэлектротранс» за 2023 г. и первую половину 2024 г. соответственно.

Рисунок 13 – Количество отказов коллекторно-щёточного узла ТЭД трамваев в 2023 году

Рисунок 14 – Количество отказов коллекторно-щёточного узла ТЭД трамваев в I полугодии 2024 года

В 2023 году неисправности коллекторно-щёточного узла ТЭД составили 24,5 % от всех отказов, в I полугодии 2024 – 21,5 %. Худший результат в 2023 году и в I полугодии 2024 в трамвайном парке №7 – 33,3 % и 60,0 % соответственно.

Самые распространённые неисправности коллекторно-щёточного узла – износ щёток и основания щёткодержателя ТЭД. По износу щёток в 2023 году выявлено 34,6 % случаев, в I полугодии 2024 года – 50,0 %. Худший результат в 2023 году в трамвайном парке №5 – 52,8 %, в I полугодии 2024 – в трамвайном парке №5 – 85,0 %.

По неисправности щёткодержателя в 2023 году выявлено 34,6 % случаев, в I полугодии 2024 года – 25,0 %. Худший результат в 2023 году в трамвайном парке №7 – 88,9 %, в I полугодии 2024 – в трамвайных парках №№7 и 8 – по 50,0 %.

Причины неисправностей коллекторно-щёточного узла:

- неплотное прилегание щёток к коллекторным пластинам, из-за чего может возникать искрение, а в крайних случаях – круговой огонь на коллекторе;
- изоляция между коллекторными пластинами выступает над ними, коллектор плохо прошлифован;
- недопустимый износ щёток, недостаточное или неравномерное нажатие щёток;
- биение коллектора, низкое качество щёток, коллектора и изоляторов;
- оборван проводник обмотки якоря, короткое замыкание в обмотке дополнительных полюсов;
- заклинивание щётки, коллектор загрязнён, межвитковое замыкание или выпаивание секции обмотки якоря из петушков коллектора.

2.2.4. Анализ надёжности электрических соединений ТЭД

На рисунках 15 и 16 представлены диаграммы, отображающие количество отказов электрических соединений ТЭД вагонов по трамвайным паркам СПб ГУП «Горэлектротранс» за 2023 г. и первую половину 2024 г. соответственно.

Рисунок 15 – Количество отказов электрических соединений ТЭД трамваев в 2023 году

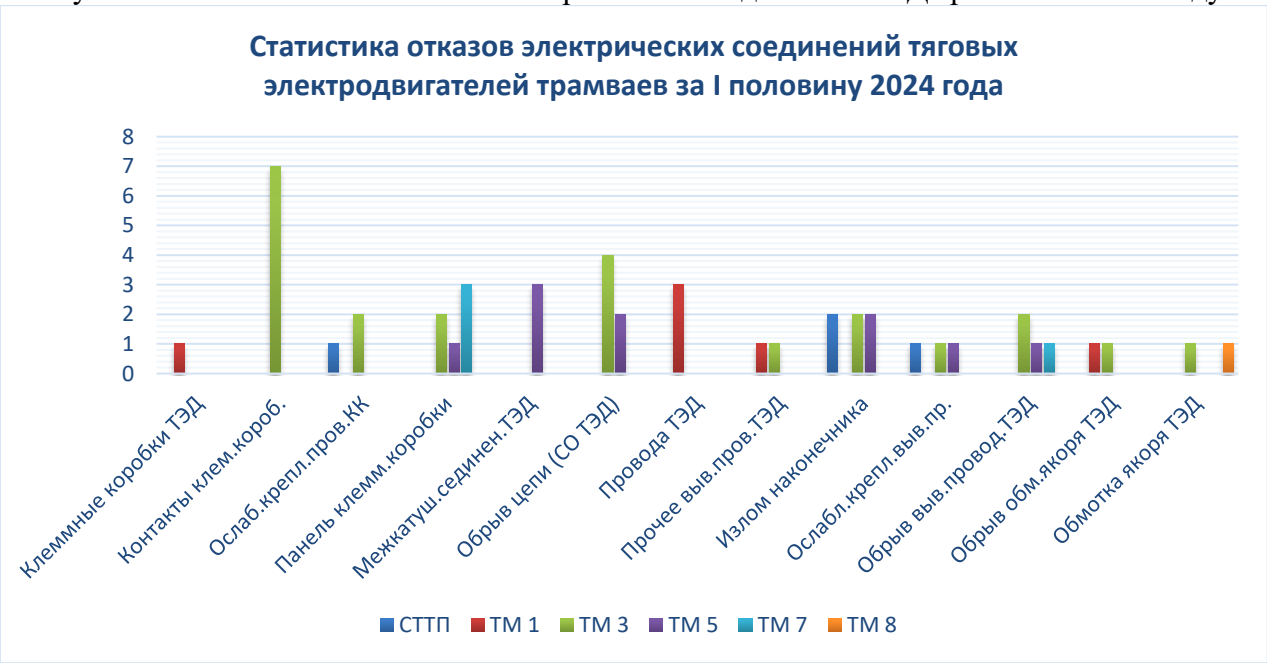

Рисунок 16 – Количество отказов электрических соединений ТЭД трамваев в I полугодии 2024 года

В 2023 году неисправности электрических соединений ТЭД составили 22,7 % от всех отказов, в I полугодии 2024 – 18,5 %. Худший показатель в 2023 г. в трамвайном парке №3 (29,7 %), а в I полугодии 2024 года – в трамвайном парке №7 (40,0 %).

Наиболее уязвимая часть электрических соединений тяговых электродвигателей постоянного тока – контакты клеммных коробок (КК). В 2023 году на них пришлось 21,2 % отказов, в I полугодии 2024 года – 14,6 %. Худший результат в 2023 году и в I половине 2024 года в трамвайном парке №3: 46,5 % и 30,4 % соответственно.

На втором месте обрыв цепи сериесной обмотки ТЭД (СО ТЭД) – в 2023 году затронул 15,2 % отказов электрических соединений, в I полугодии 2024 года – 12,5 %. Худший результат в 2023 году и в I полугодии 2024 в трамвайном парке №5 – 25,8 % и 20,0 % случаев соответственно.

В I полугодии 2024 года вторую строчку наряду с этой неисправностью поделили дефект панели клеммной коробки с худшим результатом в 75,0 % в трамвайном парке №7 и излом наконечника выводного провода ТЭД с худшим результатом в 50,0 % в СТТП.

Ещё одна частая неисправность электрических соединений – ослабление крепления проводов КК – составила в 2023 году 10,1 % отказов. Худший результат в трамвайном парке №7 (40,0 %). В I полугодии 2024 года эта неисправность не носила массового характера (лишь 6,3 % случаев).

Причины неисправностей контактов клеммных коробок: ослабление крепления при механическом воздействии, прежде всего, вибрации; недостаточное затягивание клемм при плановых технических обслуживаниях двигателя и др.

Перетирание и обрыв проводов обмотки электродвигателя происходит из-за короткого замыкания или надлома в результате частых перегибов лобовых частей при обслуживании. То же самое относится к проводам клеммной коробки и выводным проводам ТЭД.

3 Надёжность электрических аппаратов

Электрические аппараты трамвая – это электротехнические устройства, предназначенные для управления электрическими и неэлектрическими устройствами, а также для защиты этих устройств от режимов работы, отличных от нормального. К ним относят преобразователи, предохранители (в т.ч. выключатели), контакторы и реле, контроллеры управления тягой и торможением, реверсоры, реостаты и др.

На рисунках 25 и 26 представлены диаграммы, отображающие количество отказов основных электрических аппаратов вагонов по трамвайным паркам СПб ГУП «Горэлектротранс» за 2023 г. и первую половину 2024 г. соответственно.

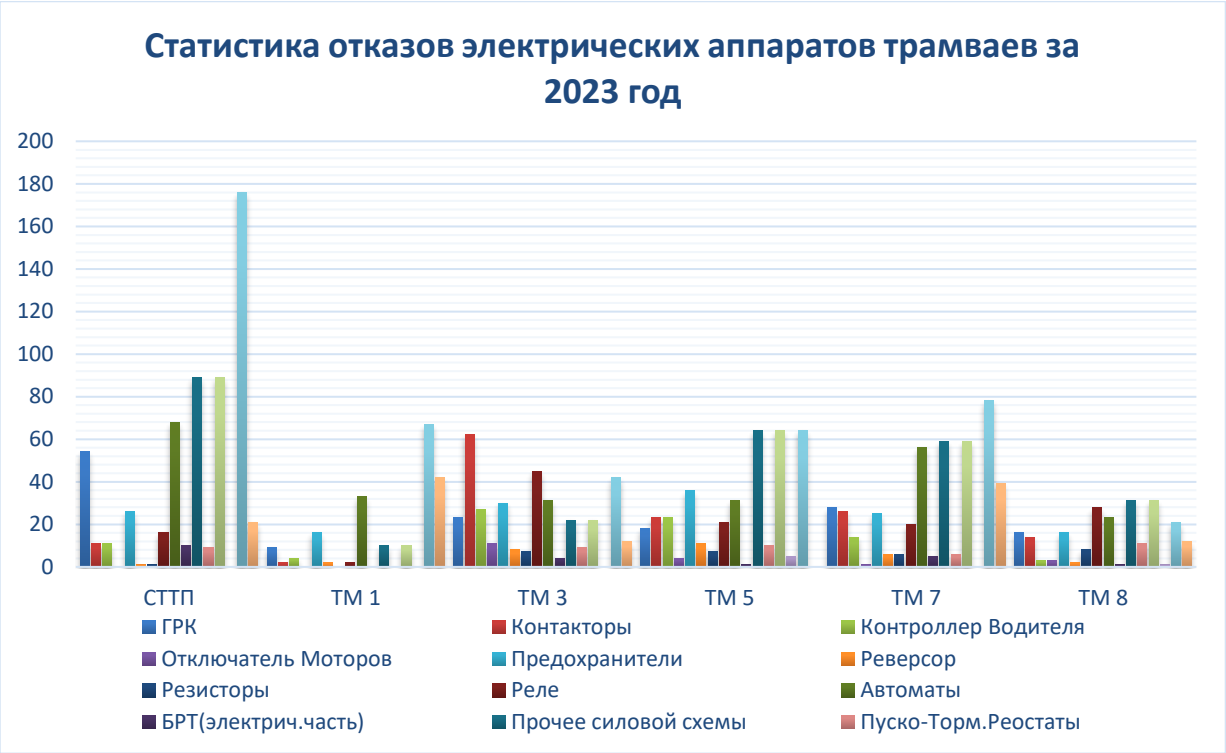

Рисунок 25 – Количество отказов электрических аппаратов трамваев в 2023 году

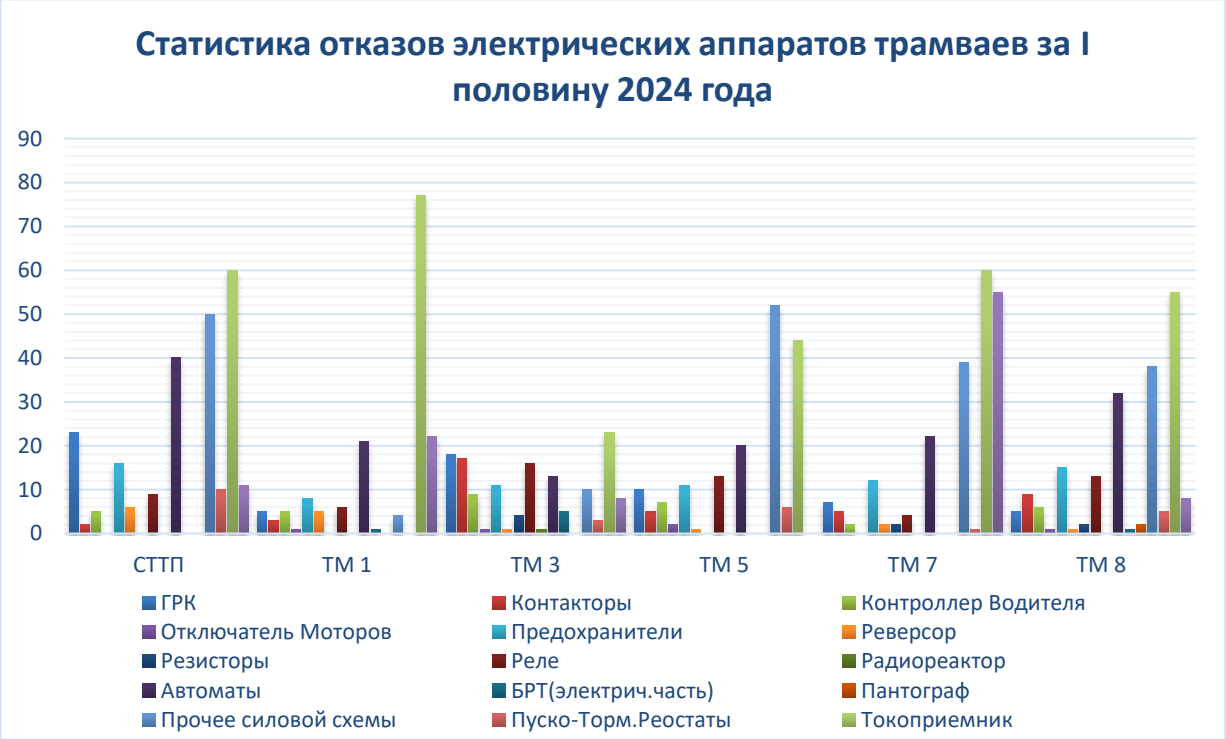

Рисунок 26 – Количество отказов электрических аппаратов трамваев в I пол. 2024 года

В 2023 году неисправности электрических аппаратов составили 23,7 % от всех отказов, в I полугодии 2024 – 22,6 %. Худший показатель в 2023 и в I полугодии 2024 года в трамвайном парке №7 (26,6 % и 29,0 % соответственно).

Наиболее часто среди электрических аппаратов встречаются неисправности токоприёмника (ТП) и его частей. В 2023 году на них пришлось 27,7 % отказов, в I полугодии 2024 года – 35,0 %. Худший результат в 2023 году в СТТП (43,6 %), в I половине 2024 года – в трамвайном парке №1: 50,0%. Самая уязвимая часть токоприёмника – контактная вставка – в 2023 году

подлежала замене или восстановлению профиля в 19,3 % отказов (по СТТП 37,9 %), в I половине 2024 года – в 26,0 % (по 1 парку 39,6 %).

На втором месте неисправности автоматических выключателей силовой и вспомогательной схем – в 2023 году затронули 15,0 % отказов электрических аппаратов, в I полугодии 2024 года – 16,2 %. Худший результат в 2023 году в трамвайном парке №1 (18,6 %), в I полугодии 2024 – в СТТП (22,0 %).

Также среди электрических аппаратов распространены отказы тягового преобразователя. В 2023 году выявлено 7,8 % неисправностей, в I полугодии 2024 года – 11,4 %. В 2023 году худший результат в трамвайном парке №1 (23,7 %), в I полугодии 2024 года – в трамвайном парке №7 (32,0 %).

Неисправности предохранителей в 2023 году составили 9,2 %, тогда как в I полугодии 2024 года – только 8,0 %. Худший результат в 2023 году в трамвайном парке №5 (14,2 %), в I половине 2024 года – в трамвайном парке №8 (9,7 %). Самый уязвимый узел – педаль безопасности: 3,9 % отказов в 2023 году и 4,8 % от всех отказов ЭА в 2024 году.

Причины неисправностей электрических аппаратов:

- токоприёмников: износ контактной вставки, подъёмной пружины, пружины каретки, излом уса, неисправности электропривода, излом, не отрегулировано давление, перекос, дефект каретки;
- автоматических выключателей (АП), предохранителей: перегрев тепловой пластины, излом шпильки подвижного контакта, обрыв катушки выключателя быстродействующего, неисправность концевика;
- тягового преобразователя (БСПТ-ЭПРО): нарушение обдува БСПТ, выход из строя силового модуля, платы питания, платы сопряжения, драйвера БСПТ;
- тягового преобразователя – инвертора (ИТ-1-04 Канопус): неисправность драйвера, выход из строя силового модуля;
- тягового преобразователя асинхронных двигателей (ПТАД Чергос): нарушение обдува ПТАД, неисправность платы сопряжения, платы питания, силового модуля;
- возможные причин неисправностей предохранителей: вжигание металла в материал изоляционных стенок – как следствие, снижение эффекта дугогашения при токах КЗ; затяжное горение дуги при малых токовых перегрузках вследствие значительного нагрева керамических накладок, разрушение предохранителя; неплотное залегание наполнителя предохранителя, что увеличивает время горения дуги.

4 Надёжность электрических соединений

На рисунках 27 и 28 представлены диаграммы, отображающие количество отказов электрических соединений вагонов по трамвайным паркам СПб ГУП «Горэлектротранс» за 2023 г. и первую половину 2024 г. соответственно.

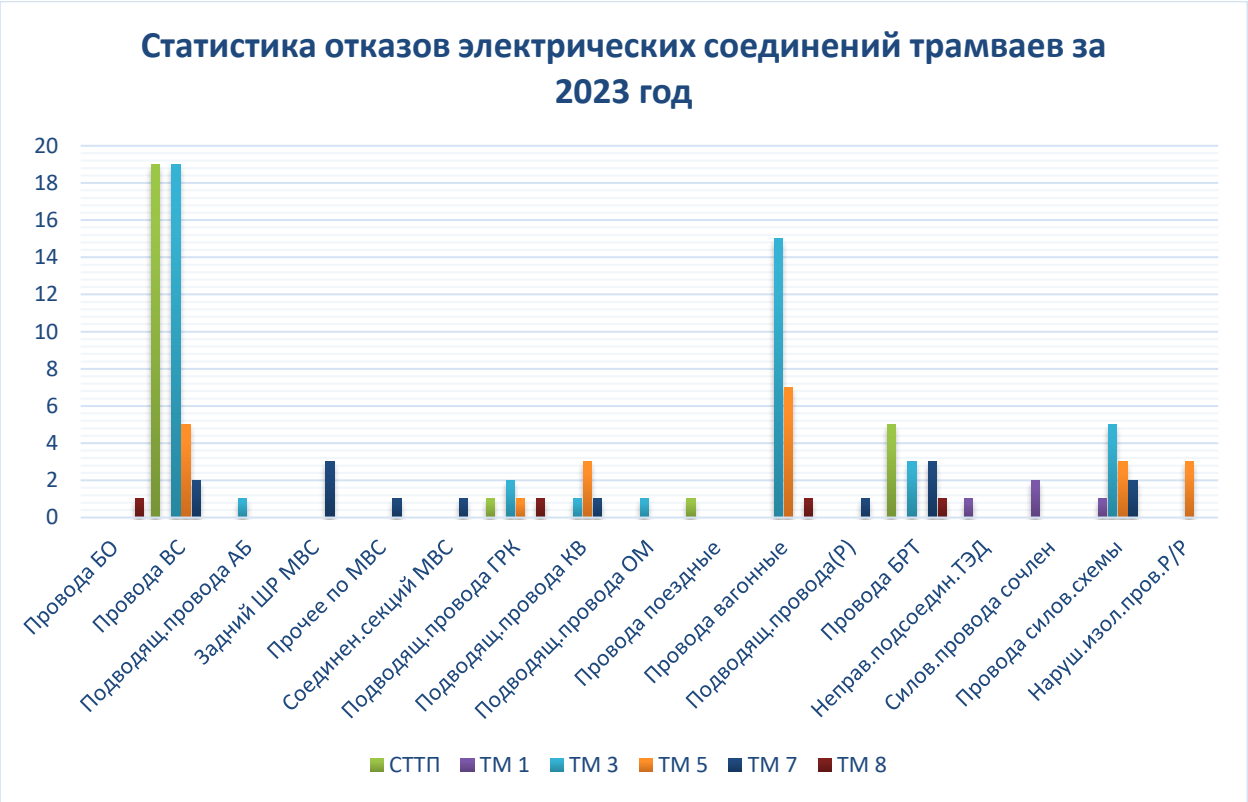

Рисунок 27 – Количество отказов электрических соединений трамваев в 2023 году

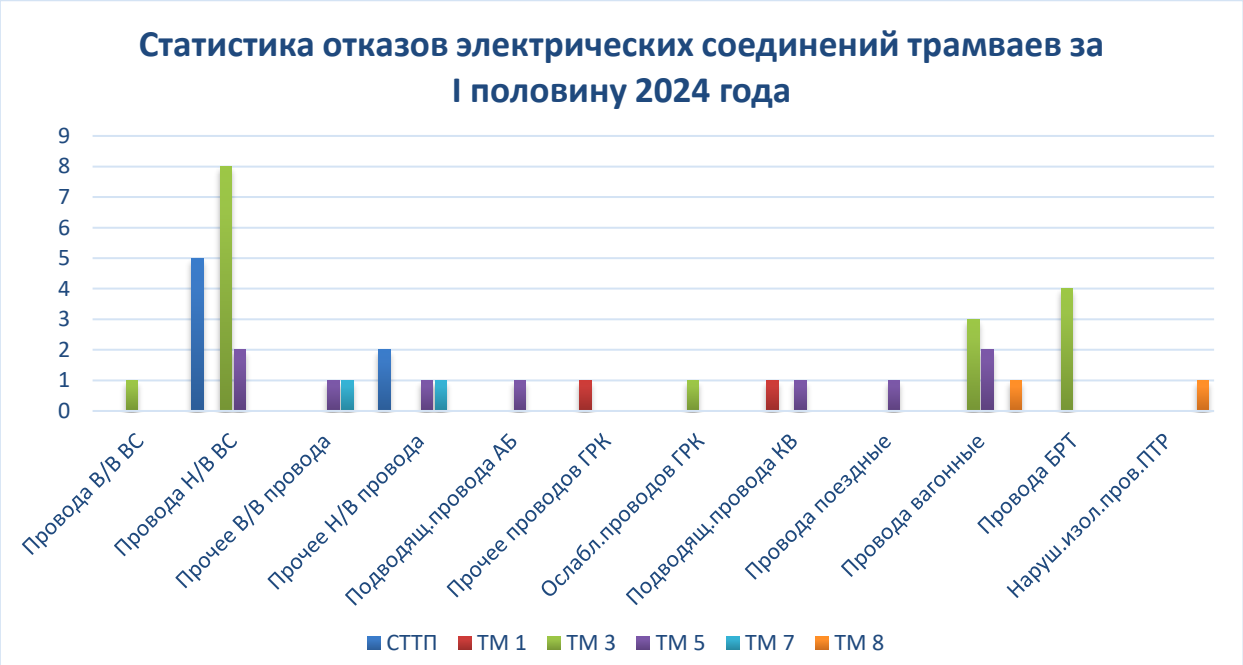

Рисунок 28 – Количество отказов электрических соединений трамваев в I пол.2024 года

В 2023 году неисправности электрических соединений составили 1,7 % от всех отказов, в I полугодии 2024 года – 1,0 %. Худший показатель в 2023 и в I полугодии 2024 года в трамвайном парке №3 (3,2 % и 1,9 % соответственно).

Наиболее часто встречаются неисправности низковольтных проводов вспомогательных схем. В 2023 году на них пришлось 23,1 % отказов, в I полугодии 2024 года – 38,5 %. Худший результат в 2023 году и в I половине 2024 года в СТТП: 46,2 % и 71,4 % соответственно.

На втором месте неисправности вагонных проводов – в 2023 году затронули 19,7 %, в I полугодии 2024 года – 15,4 %. Худший результат в 2023 году в трамвайном парке №3 (31,9 %), в I полугодии 2024 – в трамвайном парке №8 (50,0 %).

На третьем месте неисправности проводов электрической части магниторельсового тормоза (БРТ): в 2023 году и в I полугодии 2024 года выявлено 10,3 % всех неисправностей соединений. В 2023 году худший результат в трамвайном парке №8 (25,0 %), в I полугодии 2024 года – в трамвайном парке №3 (23,5 %).

Причины неисправностей электрических соединений:

- обрывов проводки: из-за коррозии жил кабелей, надломов, ослабления контактных зажимов;
- короткого замыкания: повреждение изоляции проводов, неправильное заземление, старение (разрушение) изоляции.

Заключение. Проанализировав статистику, можно утверждать, что номенклатура неисправностей трамваев широка и неравномерна от одного структурного подразделения ГУП СПб «ГЭТ» к другому.

Например, отказы роторов и подшипников асинхронных тяговых двигателей в 2023 году доминировали в ОСП «Трамвайный парк №1», а в 2024 – уже в ОСП «Трамвайный парк №7». То же касается и двигателей постоянного тока: если в 2023 году самыми уязвимыми деталями были подшипники и бандажи ТЭД, то в следующем году баланс сместился в сторону механической части якорей.

Электроизоляционная конструкция двигателей трамваев, подвергается большим токовым нагрузкам в эксплуатации, но и не стоит исключать фактор качества технического обслуживания. Например, в ОСП «Трамвайный парк №1» количество пробоев обмотки статора на корпус превышает показатели по остальным пяти паркам в 4-5 раз что в 2023, что в 2024 году.

Основная эксплуатационная неисправность электрических соединений асинхронных тяговых двигателей в 2023 году – ослабление крепления проводов клеммных коробок – в 2024 году вовсе не была обнаружена, что говорит об улучшении обслуживания АТД.

То же нельзя сказать об обслуживании двигателей постоянного тока, у которых ослабление контактов КК имеет устойчивую тенденцию к увеличению отказов. К тому же, эти двигатели имеют ещё один узел с низкими показателями надёжности – коллекторно-щёточный. В 2023 году неисправностей щёток коллектора было приблизительно поровну в ОСП «Трамвайный парк №3» и ОСП «Трамвайный парк №5», тогда как 2024 году разрыв увеличился в сторону последнего в несколько раз. Однако стоит учитывать, что активный переход на асинхронный тяговый привод также сказывается на статистике отказов коллекторно-щёточных узлов.

Анализ статистики отказов электрических аппаратов также показывает неоднородность: в 2023 больше всего неисправностей связано с выходом из строя устройств защиты: предохранителей, автоматических

быстродействующих выключателей. В 2024 году – с отказами уже токоприёмников трамваев приблизительно поровну с элементами силовых цепей (контакторами, разъединителями и т.п.). Однозначных выводов об эксплуатации и ремонте в этом случае сделать нельзя.

Надёжность электрических соединений трамвая определяется качеством и сроками обслуживания. В ОСП «Отдел эксплуатации трамвая» и «Трамвайный парк №3» чаще всего выходили из строя низковольтные (до 50 В) вагонные провода.

Самые ответственные с точки зрения безопасности движения детали механической части вагонов (колёсные пары, карданные валы, одно- и двухступенчатые редукторы) наиболее часто браковались в ОСП «Трамвайный парк №3». Распространённые дефекты механической части: ползуны, выщербины, равномерные прокаты колёс, усталостные трещины осей колёсных пар и рам тележек – обнаруживаются путём неразрушающего контроля дефектоскопистами.

Список источников

1. А. В. Плакс. Дефектоскопия механической части электрического подвижного состава: учебное пособие / А. В. Плакс. А. П. Зеленченко. – СПб: ПГУПС, 1998.
2. Отчёт по неисправностям трамваев / Д. В. Паршенков. – СПб ГУП «Горэлектротранс», 2023-2024.