

В. А. Ваулин, А. В. Муратов

ГИБРИДНАЯ ТЯГОВАЯ СИСТЕМА ЛОКОМОТИВА

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные вопросы применения тепловизионной диагностики для оценки технического состояния дизельных двигателей тепловозов. Проанализированы физические основы метода, ключевые объекты контроля и типичные термические аномалии. Особое внимание уделено практическим аспектам проведения измерений, интерпретации термограмм и интеграции тепловизионного контроля в систему планово-предупредительного ремонта тягового подвижного состава. Показана экономическая эффективность метода, заключающаяся в предотвращении внезапных отказов и сокращении затрат на восстановительный ремонт.

Ключевые слова: бесконтактная тепловизионная диагностика, тепловизионный контроль дизельных двигателей, диагностика тепловозов, инфракрасная термография, неразрушающий контроль тепловозного оборудования, дизельный двигатель тепловоза, термограмма двигателя.

Для цитирования: Ваулин, В. А. Бесконтактная тепловизионная диагностика дизельных двигателей тепловозов / В. А. Ваулин, А. В. Муратов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 4. – С. 84–90. – DOI 10.46973/1818-5509_2025_4_84.

Введение. Усложнение конструкции локомотивов приводит к снижению их надежности. Чтобы этого не происходило, конструкторам приходится увеличивать надежность отдельных деталей, узлов, аппаратов или дублировать и защищать их. Это ведет к увеличению объема контрольных работ при ремонте и требует повышения их эффективности. Согласно исследованиям, более 50 % операций при техническом обслуживании приходятся именно на контрольные работы. Так же 25 % времени при техническом обслуживании расходуется на выявление неисправного узла, 40 % - на поиск дефекта внутри этого узла и только лишь оставшиеся 35 % - на непосредственно ремонт [1, 2].

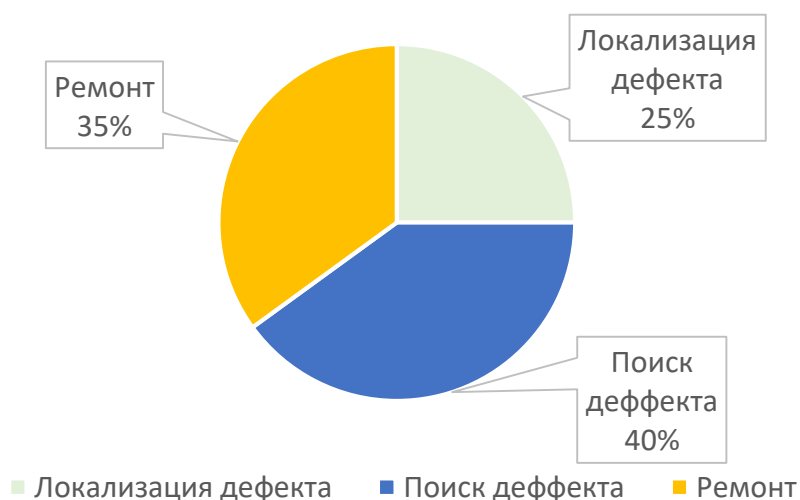


Рис. 1. Диаграмма распределения времени операций

Дизельный двигатель является сложным и высоконагруженным агрегатом, отказ которого может повлечь за собой значительные экономические потери и задержки в графике движения поездов. Традиционные методы диагностики, такие как виброакустический контроль, лабораторный химический анализ моторного масла и замеры параметров работы, требуют непосредственного контакта с оборудованием и довольно часто частичной или полной разборки узлов и агрегатов, но даже при выполнении всех этих условий не всегда позволяют выявить дефекты на ранней стадии их развития.

В этих условиях бесконтактная тепловизионная диагностика представляет собой инструмент предиктивного (прогнозирующего) обслуживания. Тепловизор, регистрирующий невидимое инфракрасное излучение поверхности объектов, позволяет визуализировать распределение температур в реальном времени. Поскольку большинство неисправностей в дизельном двигателе сопровождаются локальным изменением теплового поля: перегревом или аномальным охлаждением- тепловизионный метод диагностики становится незаменимым для быстрого и точного выявления скрытых дефектов.

Цель данной статьи – детально разобрать методологию тепловизионной диагностики дизельных двигателей тепловозов, определить круг решаемых задач и сформулировать практические рекомендации по ее дальнейшему внедрению.

Разрушающие узлы и агрегаты процессы в большей своей части являются тепловыми, то есть скорость разрушения непосредственно связана с температурой. Поэтому для анализа данных процессов необходимо проведение теплового мониторинга. Допустимые температуры для узлов и агрегатов тепловоза приведены в нормативно- технической документации. Современные системы в основном измеряют только температуру масла и охлаждающей жидкости, перегрев которых говорит о неисправности и требует срочной остановки дизеля. Но для определения критических состояний требуется не только регистрировать температуру в текущий момент, но и скорость нарастания температурного градиента. Каждому типу тепловоза соответствуют некоторые критические значения такого градиента, при которых наступают предельные состояния нагрева масла и охлаждающей жидкости [3].

Физические основы и преимущества метода: в основе тепловизионного контроля лежит принцип, согласно которому любое тело, температура которого превышает абсолютный ноль (-273°C), излучает электромагнитные волны в инфракрасном диапазоне. Интенсивность этого излучения напрямую связана с температурой поверхности объекта согласно законом Стефана-Больцмана.

Тепловизор, по сути, является высокочувствительной камерой, которая преобразует невидимое человеческим глазом инфракрасное излучение в видимое изображение, называемое термограммой. На термограмме каждому значению температуры присваивается определенный цвет, что позволяет наглядно оценить тепловую картину.

Ключевые преимущества тепловизионной диагностики для тепловозных дизелей:

1. Бесконтактность и безопасность. Измерения проводятся на расстоянии, что исключает риск для персонала при работе с горячими, движущимися или находящимися под высоким напряжением частями и агрегатами.

2. Оперативность контроля и высокая скорость сканирования. Процесс обследования занимает минуты, что позволяет проверять двигатели избегая длительных простоев.

3. Возможность диагностики труднодоступных узлов. Тепловизор позволяет контролировать температуру элементов, скрытых в кожухах или расположенных в плотной компоновке двигателя.

4. Высокая информативность. Термограмма предоставляет не точечные, а площадные данные о распределении температуры, выявляя зоны с аномальным градиентом.

5. Документирование результатов. Каждая термограмма сохраняется с привязкой ко времени и дате, что позволяет отслеживать динамику развития дефекта и формировать архив технического состояния.

Основные объекты тепловизионного контроля и типичные дефекты: тепловизионное обследование дизельного двигателя тепловоза целесообразно проводить на установившемся режиме работы, когда температура основных узлов достигла рабочих значений.

Ключевыми объектами контроля являются:

Система охлаждения: Радиатор и патрубки: Тепловизор легко выявляет засорение сот радиатора, что проявляется в виде локальных "холодных" зон на фоне нагретой поверхности. Аналогично диагностируются расслоения в патрубках, их перегибы или внутренние отложения, препятствующие нормальной циркуляции охлаждающей жидкости (рис. 2). Водяная рубашка цилиндров: Неравномерный нагрев блоков цилиндров может указывать на образование воздушных пробок или известковых отложений в рубашке охлаждения, что ухудшает теплоотвод и ведет к локальному перегреву.

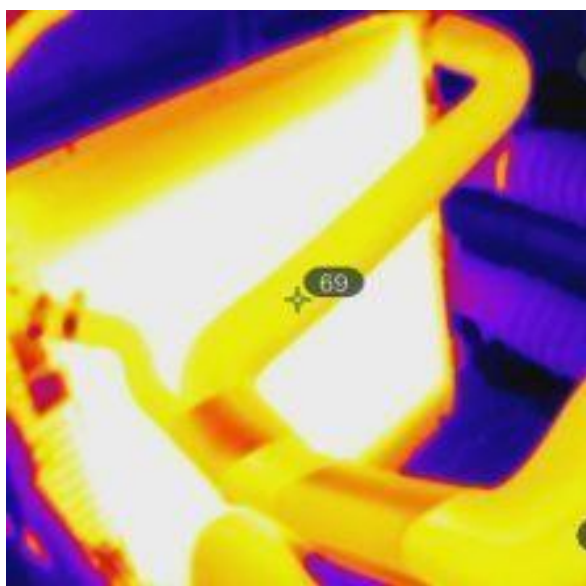
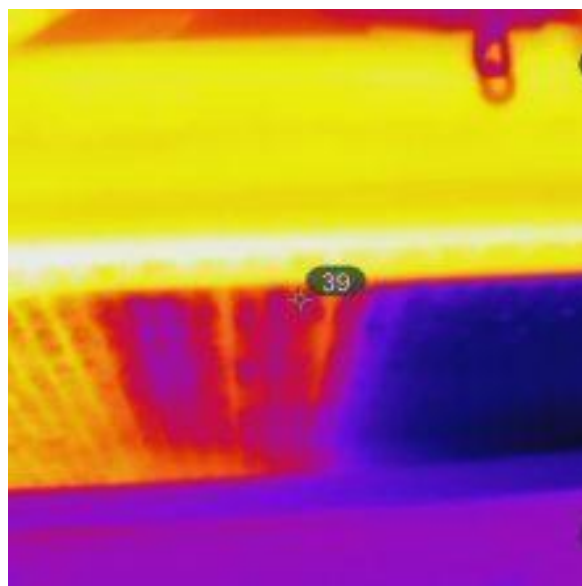
**а****б**

Рис. 2. Термограммы работы радиаторов охлаждения дизельного двигателя:

- а – Термограмма работоспособного радиатора (равномерный прогрев всего радиатора);
б – Термограмма радиатора, работающего с отклонениями (неравномерный прогрев в связи с засорением сот).

Система выпуска отработавших газов: Выпускные коллекторы и турбокомпрессор: тепловизор позволяет оценить равномерность температуры на выходе из каждого цилиндра. Существенное отклонение температуры одного из коллекторов свидетельствует о неисправности в конкретном цилиндре: нарушении угла опережения впрыска, износе форсунки, снижении компрессии или прогаре клапана. Перегрев подшипникового узла турбокомпрессора — прямой признак его скорого выхода из строя. Соединения и фланцы: Утечки отработавших газов через неплотности проявляются на термограмме как четко локализованные очаги с высокой температурой (рис. 3). Система топливоподачи: Топливные форсунки: Перегрев форсунки может быть вызван нарушением распыления топлива, его подтеканием или закоксовыванием. Сравнительный анализ температуры всех форсунок помогает идентифицировать неисправный элемент (рис. 4). Топливопроводы высокого

давления: локальный нагрев на магистрали может указывать на повышенное внутреннее сопротивление или начало кавитационного разрушения (рис. 5)

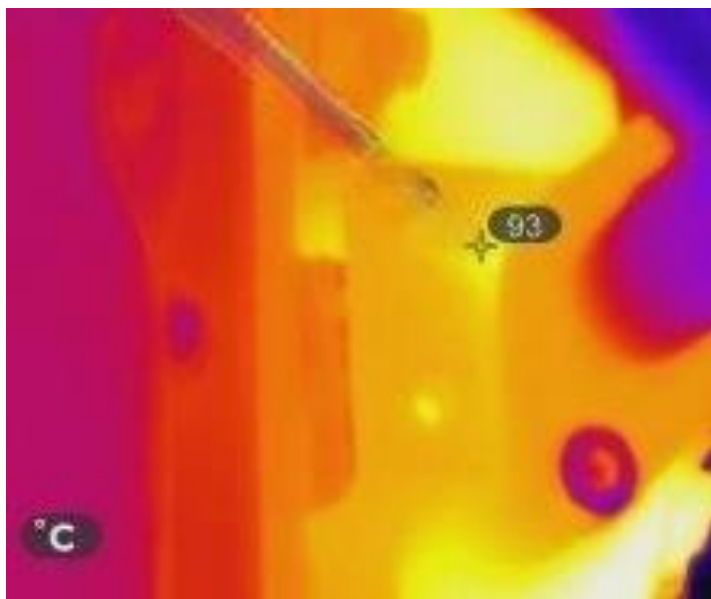


Рис. 3. Утечка выхлопных газов из-под прокладки, выраженная на термограмме местом локального перегрева

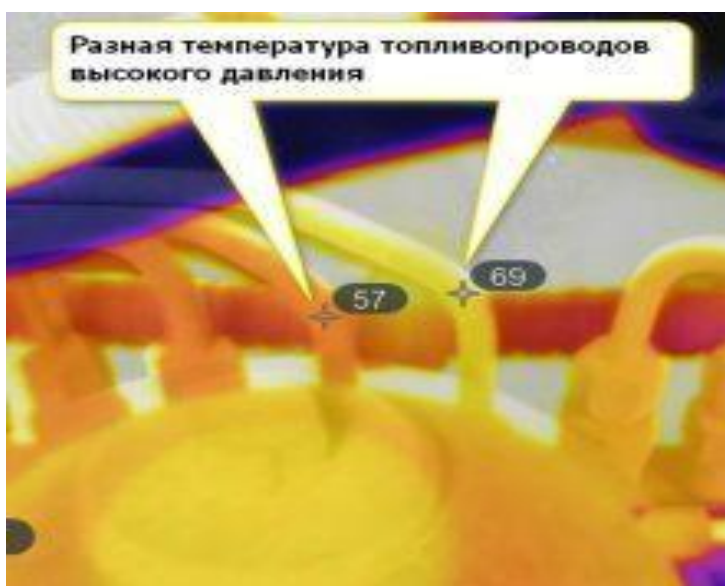


Рис. 4. Термограмма топливной рейки дизельного двигателя с значительно отличающейся температурой форсунок

Цилиндро-поршневая группа (ЦПГ) и система смазки. Наружная поверхность блока цилиндров: хотя прямой доступ к гильзам затруднен, косвенно о состоянии ЦПГ можно судить по тепловой картине блока. Локальные перегревы могут быть связаны с залеганием поршневых колец или нарушением теплоотвода. Поддон картера и маслопроводы: тепловизор помогает выявить утечки моторного масла, которые видны как потеки с температурой, отличной от окружающего металла.

Вспомогательное оборудование двигателя: Генератор, вентилятор охлаждения и элементы их привода: с помощью тепловизионного контроля можно выявить, перегрев подшипников, приводных ремней, муфт и шкивов (рис. 6)

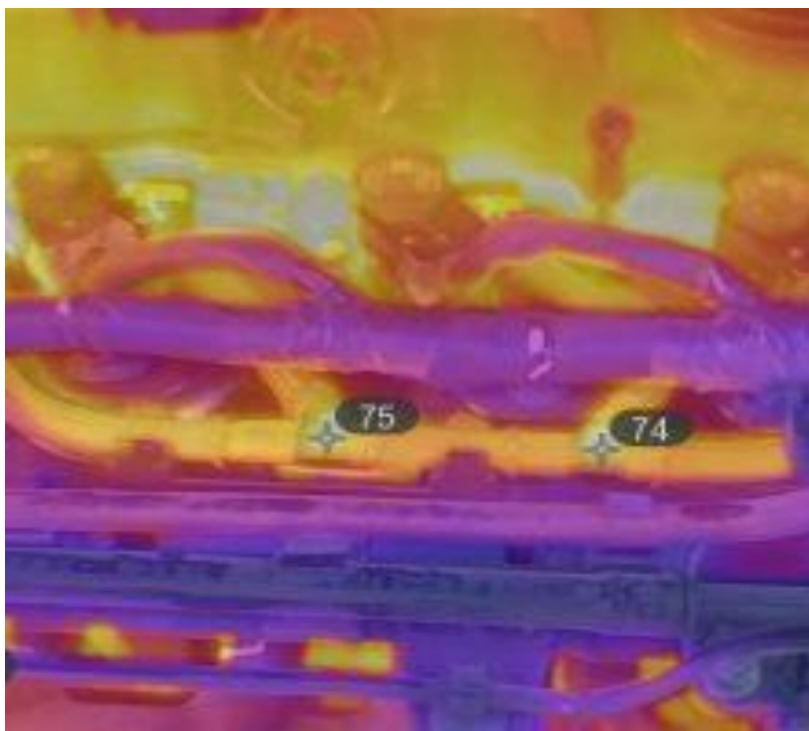


Рис. 5. Перегрев трубки возвратной магистрали дизельного топлива

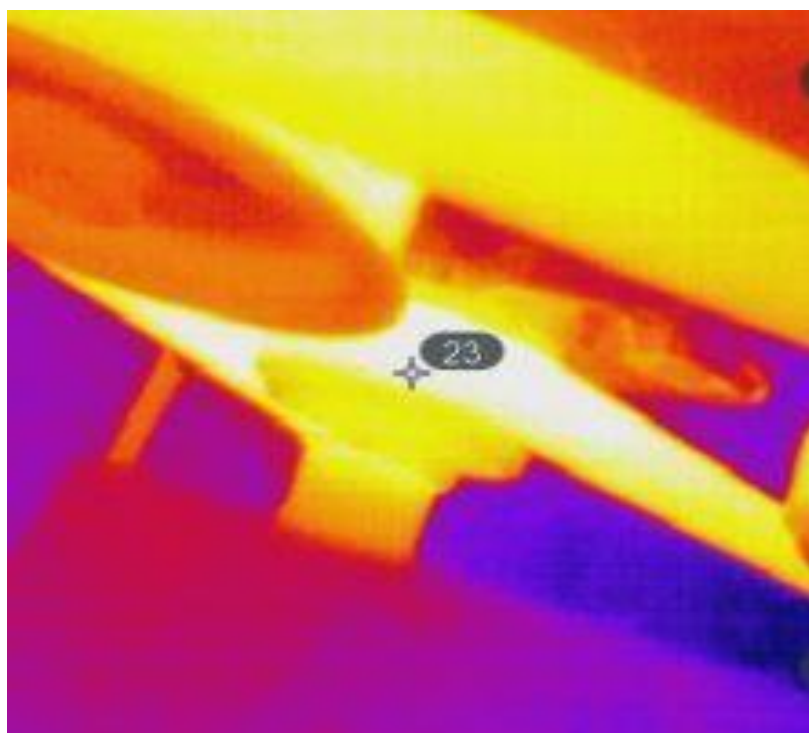


Рис. 6. Термограмма привода вспомогательного оборудования дизельного двигателя, выраженное в локальном перегреве ремня и шкива

Методика проведения обследования и интерпретация полученных данных: для получения достоверных результатов необходимо соблюдать определенный регламент.

Подготовка к обследованию: Обеспечить доступ к двигателю, по возможности сняв защитные кожухи. Очистить поверхности от толстого слоя грязи и масляных отложений, так как они искажают термограмму. Установить двигатель на номинальный режим работы и дождаться выхода на стабильный тепловой режим. Учесть внешние условия: избегать прямого солнечного света, попадания осадков и сильного ветра.

Проведение съемки: Обследование каждого узла проводится с нескольких ракурсов для полноты охвата. Настройки тепловизора (коэффициент эмиссии, отраженная температура, влажность, расстояние) должны быть корректно заданы. Низкий коэффициент эмиссии окрашенных металлических поверхностей может привести к большой погрешности в измерениях. Для каждого узла сохраняется термограмма с вынесенными точками и областями измерения (максимум, минимум, среднее значение).

Анализ термограмм: Основной принцип – сравнительный анализ. Температуру однотипных узлов (например, всех выпускных коллекторов) сравнивают между собой. Разброс более 10-15% считается признаком аномалии. Анализируется не только абсолютное значение температуры, но и форма, размер и локализация тепловой аномалии. Резкая граница между горячей и холодной зоной часто указывает на внутреннюю проблему. Данные тепловизионного контроля не являются абсолютным диагнозом. Они указывают на наличие проблемы, которую затем необходимо подтверждать с помощью других методов диагностики.

Экономическая эффективность и интеграция в систему ТО и ТР:

Внедрение тепловизионной диагностики в процесс технического обслуживания и ремонта тепловозов поможет значительно снизить время на диагностику и локализацию неисправностей, тем самым значительно сократиться время простоя тепловозов. Так же стоит отметить возможность предотвращения возникновения вторичных повреждений. Например, своевременное обнаружение течи охлаждающей жидкости предотвращает перегрев и коробление головки блока цилиндров. Общее сокращение затрат на ремонт тепловозов. Планово-предупредительный ремонт на основе данных диагностики, всегда дешевле ремонта вследствие отказа.

Заключение. Бесконтактная тепловизионная диагностика дизельных двигателей тепловозов представляет собой уникальный по сочетанию оперативности, безопасности и информативности неразрушающий метод контроля, дающий возможность визуализировать тепловые процессы, протекающие внутри агрегата, без его разборки позволяет выявлять широкий спектр дефектов на ранней стадии и предотвратить полный отказ. Дальнейшее развитие метода связано с автоматизацией сбора и анализа термограмм и возможной интеграцией тепловизионных систем в систему бортовой диагностики подвижного состава для мониторинга тепловых процессов в реальном времени в условиях эксплуатации.

Список литературы

1. **Наговицын, В. С.** Разработка алгоритма поиска критических узлов железнодорожного подвижного состава / В. С. Наговицын, А. П. Буйносов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 4. – С. 153-156. – EDN SMYGGN.
2. **Ваулин, В. А.** Применение систем компьютерного зрения на тяговом подвижном составе полигона Горьковской железной дороги / В. А. Ваулин, А. В. Муратов // Дни студенческой науки : Сборник материалов 52-й научной

References

1. **Nagovitsyn, V. S.** Development of an algorithm for searching for critical nodes of railway rolling stock / V. S. Nagovitsyn, A. P. Buynosov // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. - 2014. - No. 4. - P. 153-156. - EDN SMYGGN.
2. **Vaulin, V. A.** Application of computer vision systems on traction rolling stock of the Gorky Railway testing ground / V. A. Vaulin, A. V. Muratov // Days of Student Science: Collection of materials from the 52nd scientific conference of students of

конференции обучающихся ПривГУПС, Самара, 01–25 апреля 2025 года. – Самара: Приволжский государственный университет путей сообщения, 2025. – С. 40–42. – EDN QGDWTV.

3. **Боряк, К. Ф.** Перспективы внедрения температурного мониторинга для диагностики технического состояния механических узлов подвижного тягового железнодорожного состава / К. Ф. Боряк, С. Л. Волков, Е. С. Шпат // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2014. – No 2. – С. 50–53.

Privolzhsky State Transport University, Samara, April 1–25, 2025. – Samara: Volga State Transport University, 2025. – P. 40–42. – EDN QGDWTV.

3. **Boryak, K. F.** Prospects for the implementation of temperature monitoring for diagnostics of the technical condition of mechanical units of rolling stock / K. F. Boryak, S. L. Volkov, E. S. Shpat // Technical diagnostics and non-destructive testing. - 2014. - No. 2. - P. 50-53.

V. A. Vaulin, A. V. Muratov

NON-CONTACT THERMAL IMAGING DIAGNOSTICS OF DIESEL ENGINES OF LOCOMOTIVES

Abstract. The article discusses the current issues of using thermal imaging diagnostics to assess the technical condition of diesel engines in locomotives. It analyzes the physical principles of the method, the key objects of control, and typical thermal anomalies. The article focuses on the practical aspects of measuring, interpreting thermograms, and integrating thermal imaging diagnostics into the preventive maintenance system for traction rolling stock. It demonstrates the economic benefits of the method, including the prevention of sudden failures and reduced costs for repair.

Keywords: non-contact thermal imaging diagnostics, thermal imaging control of diesel engines, diagnostics of diesel locomotives, infrared thermography, non-destructive control of diesel locomotive equipment, diesel locomotive engine, engine thermogram.

For citation: Vaulin, V. A. Non-Contact Thermal Imaging Diagnostics of Diesel Engines of Locomotives / V. A. Vaulin, A. V. Muratov // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobseniya. – 2025. – № 4. – P. 84–90. – DOI 10.46973/1818-5509_2025_4_84.

Сведения об авторах

Ваулин Владислав Алексеевич

Приволжский государственный университет путей сообщения (ПривГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
аспирант,
e-mail: 78979@stud.samgups.ru

Муратов Алексей Владимирович

Приволжский государственный университет путей сообщения (ПривГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
и. о. заведующего кафедрой,
кандидат технических наук, доцент
e-mail: muratov@samgups.ru

Information about the authors

Vaulin Vladislav Alekseevich

Volga State Transport University (VSTU),
Chair «Traction Rolling Stock»,
Postgraduate Student,
e-mail: 78979@stud.samgups.ru

Muratov Alexey Vladimirovich

Volga State Transport University (VSTU),
Chair «Traction Rolling Stock»,
Head of the Chair,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
e-mail: muratov@samgups.ru