

А. К. Пляскин, А. А. Потапов

СПОСОБЫ РАЗГРАНИЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ЛОКОМОТИВОВ

Аннотация. Рассмотрена проблема разграничения технических состояний (ТС) локомотивов. Разделение и идентификация ТС – один из основных инструментов технической диагностики, основой которого является теория распознавания образов. Приведены примеры разделения ТС (образов) из нормативно-технической базы в сфере надёжности, примеры ТС устройств ЖАТ и СЦБ, пример ТС из сферы энергетики, а также виды групп риска (состояний) работников локомотивных бригад. Из представленного сравнения выявлено, что для отдельных деталей и узлов локомотива существуют более детальные способы разграничения ТС, нежели для всего локомотива в целом, несмотря на его сложность и принцип супераддитивности (система сложнее суммы её частей).

Оценена эффективность существующей методики распределения локомотивов по группам риска. При использовании существующей методики из-за большого количества локомотивов группы риска ремонтный комплекс не сможет выполнить указанный объем работ в связи с наличием планов технического обслуживания и ремонта (ТОиР) и выполнения неплановых ремонтов.

С целью совершенствования характера эксплуатации и ТОиР локомотивов предлагается несколько новых способов разграничения их ТС: с помощью наивного байесовского классификатора на основе показателей надёжности, с помощью оценки отклонения эксплуатационных (рабочих) параметров локомотива от норматива, комбинированный способ.

Ключевые слова: управление парком локомотивов, техническое состояние, рисковое состояние, байесовский классификатор, критерий.

Для цитирования: Пляскин, А. К. Способы разграничения технических состояний локомотивов / А. К. Пляскин, А. А. Потапов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2026. – № 1. – С. 121–134. – DOI 10.46973/0201-727X_2026_1_121.

Введение

Вопрос ранжирования (разделения) технических состояний машин и механизмов, объектов транспорта и энергетики является крайне значимым для бесперебойного функционирования производственных комплексов. Внезапный отказ оборудования всегда приводит к простою, убыткам, нарушению технологического процесса. Тяговый подвижной состав – локомотивы – и локомотивное хозяйство в целом являются самым капиталоемким хозяйством ОАО «РЖД», в связи с этим отказы локомотивов являются критически значимыми для функционирования железнодорожного транспорта. Путем своевременного разграничения рискованных технических состояний локомотивов возможно усовершенствовать работу транспорта и повысить безотказность перевозочного процесса. Поэтому целью настоящей работы является разработка и обоснование способов разграничения технических состояний локомотивов, обеспечивающих своевременную идентификацию рискованных состояний и направленных на повышение безотказности перевозочного процесса, эффективности эксплуатации, технического обслуживания и ремонта (ТОиР).

На железнодорожном транспорте, как и в других сферах, применяется ГОСТ Р 27.102-2021 «Надёжность в технике. Надёжность объекта. Термины и определения», который выделяет несколько бинарных состояний технического объекта: исправное/неисправное, работоспособное/неработоспособное, рабочее/нерабочее [1].

Деления состояний объекта на «исправное/неисправное» недостаточно, ввиду того что неисправное состояние может иметь различную степень «тяжести» (легкие повреждения, не влияющие на выполнение техническим объектом своих функций, или же тяжелые – снижающие эффективность его использования). Поэтому выделяют дополнительные состояния, такие как «работоспособное/неработоспособное», предельное [2]. Кроме того, стандарт [1] содержит следующее примечание: «Для сложных объектов возможно деление их неработоспособных состояний. При этом из множества неработоспособных состояний выделяют частично неработоспособные состояния, в которых объект способен частично выполнять требуемые функции». Таким образом, возможно выделение нескольких частично

неработоспособных состояний между работоспособным и неработоспособным состояниями технического объекта по степени деградации технического объекта или степени реализации им своих функций.

Дополнительно во множестве неработоспособных состояний выделяют защитные и опасные состояния. Неработоспособные защитные состояния снижают вероятность развития опасного отказа, неработоспособные опасные наоборот – увеличивают [2]. Также существует работоспособное предотказное состояние – такое работоспособное состояние объекта, когда хотя бы один из параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции, достигает граничного значения, определенного нормативно-технической и (или) конструкторской документацией, при котором не может быть гарантирована работоспособность объекта при дальнейшем изменении данного параметра.

Основная часть

Если обратиться к нормативной базе по управлению и содержанию парком локомотивов, а именно инструкции по учёту локомотивов, утверждённой распоряжением ОАО «РЖД» от 29 октября 2012 года N 2155р [3], выяснится, что локомотивы делятся на эксплуатируемый парк (который подразделяется на рабочий и нерабочий парки) и неэксплуатируемый парк.

Согласно инструкции [3] локомотив может находиться только в одной из категорий инвентарного парка. Локомотивы рабочего парка делятся по виду выполняемой работы (поездная, маневровая и прочая). Локомотивы нерабочего парка подразделяются на: перемещаемые без участия в тяге, ожидающие перемещения для выполнения ТОиР, ожидающие работу на станционных путях и т.д. Локомотивы, требующие непланового ремонта (НР), в зависимости от технического состояния, относят либо к нерабочему, либо к неэксплуатируемому паркам. Главная характеристика рабочего парка – все локомотивы в его составе задействованы при проведении работы. Основным критерий перехода в категорию нерабочего/неэксплуатируемого парка по техническому состоянию – факт отказа или приближение срока планового ТОиР. Других способов разделения технических состояний в инструкции [3] не предусмотрено.

Структура инвентарного парка приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структура инвентарного парка ОАО «РЖД» [3]

Однако в ОАО «РЖД» применяется как минимум один способ разграничения технического состояния локомотивов рабочего парка – это зачисление отдельных тяговых единиц в группу риска (порядок утверждён распоряжением ОАО «РЖД» от 20.12.2022 г. № 3383/р [4]). В группу риска включаются локомотивы, допустившие три и более отказов технических средств (ОТС) 1-й или 2-й категорий после планового ремонта или обслуживания либо пяти неплановых ремонтов (за исключением превышения норм простоя на ТО-2).

Локомотив группы риска принимается в эксплуатацию после ремонта в ходе комиссионного осмотра; может быть размещён вне очереди для проведения крупных видов ремонта с минимально допустимым пробегом; при зачислении локомотива в группу риска сервисная компания получает уведомление об этом и обязана восстановить его работоспособность при поступлении в сервисное депо. Локомотив выводится из группы риска при положительном решении всех членов комиссии и затем находится 30 суток на испытательном сроке. Также локомотивы группы риска отмечаются красной отметкой в ЕК АСУТ [4].

Таким образом, фактически существуют два вида классификации состояния локомотивов по два состояния на каждую. Сведем данные о них в таблицу 1.

Таблица 1

Классификация состояний локомотивного парка

№	Вид классификации	№	Состояние	Обозначение в ЕК АСУТ	Критерий отнесения к состоянию
1	По возможности использования для тяги поездов	1	В рабочем парке или в нерабочем парке (ожидает работу)	Не предусмотрено	Локомотив в работе (реализует тягу поездов) или возможно прямо сейчас поставить локомотив под поезд
		2	Вне рабочего парка		Локомотив передислоцируется в «холодном» состоянии, на плановом/неплановом ремонте
2	По риску эксплуатации	1	Вне группы риска	Не выделяется	Количество ОТС 1, 2 кат. < 3 или количество НР < 5
		2	В группе риска	Красная маркировка	Количество ОТС 1, 2 кат. ≥ 3 или количество НР ≥ 5

Существует ГОСТ 33943-2016 «Межгосударственный стандарт. Надежность железнодорожного тягового подвижного состава. Термины и определения», который содержит следующие виды состояний тягового подвижного состава: исправное, неисправное, работоспособное, неработоспособное, опасное, предельное. Однако, как видно из табл. 1 и нормативно-технической документации [3, 4], в эксплуатации применяется более узкая классификация.

При этом первый вид классификации из табл. 1 не ранжирует парк локомотивов по техническому состоянию, так как в неэксплуатируемом парке могут быть как неисправные, так и исправные локомотивы, а в эксплуатируемом нерабочем – исправные, работоспособные, неисправные одновременно. Второй вид классификации табл. 1 фактически разграничивает только две группы локомотивов. Локомотивы группы риска должны подвергаться более детальному контролю при ТОиР и приемке, а также после вывода из группы риска.

Дополнительно отметим следующее: исходя из логики действующих нормативно-технических документов по эксплуатации парка локомотивов (инструкции [3] или приказов Дирекции тяги, определяющих нормы масс и длин поездов на железных дорогах РФ, например, приказ от 10 апреля 2024 г. № ЦТ-51 для Дальневосточной железной дороги) фактически принято, что локомотивы взаимозаменяемы и идентичны по своему техническому состоянию как в пределах одной серии, так и всего парка.

Разграничение различных технических состояний локомотивов предусматривается не только нормативной документацией, но и функционалом программного обеспечения (ПО) бортовых микропроцессорных систем управления и диагностики (МПСУиД). Так, МПСУиД, применяемое на тепловозах серии ТЭМ9, предусматривает несколько цветографических обозначений, выводимых на монитор на пульте управления машиниста в зависимости от неисправности и степени её тяжести, а также приоритетность ТОиР по виду сообщения в соответствии с табл. 2 [5].

Таблица 2

Виды и приоритеты диагностических сообщений МПСУиД ТЭМ9 [5]

Обозначение	Приоритет	Тип неисправности	Значение
	1	Серьёзная неисправность	Необходим вызов вспомогательного локомотива
—	2	—	При первой возможности необходим ремонт в условиях депо
	3	Предупредительные сообщения	Завершить текущую поездку в соответствии с графиком. При заходе в депо сделать запись о необходимости выполнения внепланового ТО
	4	Предупредительные сообщения	Внеплановое техобслуживание не требуется
	5	Информационные сообщения	Информирование локомотивной бригады

Для электровозов серии 2ЭС6 в МПСУиД предусмотрены иная градация диагностических сообщений в части ограничений по эксплуатации, представленная в табл. 3, и градация классов ограничений для отказов отдельных видов оборудования или узлов, представленная в табл. 4. В соответствии с документацией на электровоз 2ЭС6 диагностические сообщения могут выдаваться как машинисту, так и в радиоканал или в архив. Диагностические сообщения, кроме кода, приоритета, сообщения и рекомендации машинисту, имеют обозначение вида «D-0», где первый символ обозначает класс ограничения эксплуатации, а второй символ – группу ограничений [6, 7].

Таблица 3

Группы ограничений по эксплуатации электровоза 2ЭС6 [6]

Номер группы	Цветовая маркировка группы в МПСУиД	Значение
0		Нет ограничений
1		Требуется ремонт на ТО-2
2		Требуется заход в ремонтное депо

Таблица 4

Классы ограничений эксплуатации электровоза 2ЭС6 [7]

Класс	Маркировка класса	Значение
A		Отказ, приводящий к невозможности дальнейшего движения
B		Отказ с возможностью устранения путем повторного включения
C		Отказ, ограничивающий характеристики локомотива
D		Предупреждение без ограничений

В ООО «СТМ-Сервис», выполняющей ТОиР локомотивов АО «СТМ», применяется специализированное ПО «Ситуационный центр ООО «СТМ-Сервис», которое использует представленную выше классификацию ограничений по эксплуатации электровозов [8].

При этом указанные классификации технических состояний тепловозов и электровозов являются решением завода-изготовителя, а не установлены нормативно.

Ранжирование различных состояний, введение градаций используется повсеместно в технической сфере и является базовым инструментом технической диагностики, а также методов управления оборудованием и активами. Этот инструмент активно применяется и в других отраслях. Известно, что одним из оснований технической диагностики является теория распознавания образов, причем в условиях ограниченности информации о состоянии технических объектов. В этом плане, а также по используемым методам техническая диагностика очень близка к медицинской диагностике [9]. Ввиду широкого охвата проблематики разделения состояний и распознавания образов, рассмотрим альтернативные виды разделения состояний – методику разделения состояний работников локомотивных бригад, методику оценки технического состояния в энергетике, методику разделения технических состояний устройств ЖАТ и СЦБ, и сравним их с методиками разделения состояния локомотивов.

В локомотивном хозяйстве выделяются так называемые группы риска работников локомотивных бригад. Для них существует два вида классификации групп риска – по профессиональным компетенциям (результатам работы) и по психофизиологическим показателям. В настоящее время в Системе оценки уровня знаний работников локомотивного комплекса ОАО «РЖД» (АСПТ) реализовано распределение работников локомотивных бригад по группам риска: от незначительного риска до недопустимого (критического) риска по критериям, представленным в табл. 5 [10]. Методика распределения работников по группам риска основывается на критериях отнесения к группам риска в соответствии с Положением о машинисте-инструкторе локомотивных бригад Дирекции тяги, утвержденном распоряжением ОАО «РЖД» от 9 апреля 2018 г. № 707/п [11].

Таблица 5

Критерии отнесения работников локомотивных бригад к группе риска по результатам их работы [10]

№	Риск	Уровень	Критерий отнесения к группе риска	
1	Незначительный	Зеленый	И	Нет нарушений в АСУТ-НБД
				Нет нарушений на тренажере
				Тест АСПТ сдан >65 баллов
2	Допустимый (несущественный)	Жёлтый	ИЛИ	Есть 2 или 3 негрубых нарушений в АСУТ-НБД, но тест АСПТ сдан >65 баллов
				Нет грубых нарушений в АСУТ-НБД, но есть 2÷5 негрубых нарушений на тренажёре
				Отсутствуют нарушения, тренажёр пройден, и тест АСПТ ≤65 баллов
3	Нежелательный (существенный)	Оранжевый	ИЛИ	Есть 2÷3 негрубых нарушений в АСУТ-НБД
				1 грубое нарушение на тренажёре
				Тест в АСПТ сдан ≤65 баллов
4	Недопустимый (критический)	Красный	1 грубое нарушение в АСУТ-НБД	

Распределение работников локомотивных бригад по группам риска по психофизиологическим показателям ранее производилось в соответствии с Методикой формирования групп риска работников локомотивных бригад по медицинским и психофизиологическим показателям [12], действовавшей с 2011 по 2018 годы, в соответствии с табл. 6. Количество баллов определялось путем их суммирования в случае наличия факторов риска.

Таблица 6

Критерии отнесения работников локомотивных бригад к группам риска по психофизиологическим показателям [12]

№	Риск	Число баллов	Периодичность осмотров
1	Незначительный	1–40	При каждой ВЭК
2	Умеренный	41–450	Ежегодно (по показаниям – чаще)
3	Высокий	451–2250	Ежегодно
4	Очень высокий	Свыше 2551	Не реже 1 раза в 6 месяцев

В настоящее время вместо методики [12] применяется Порядок формирования группы риска работников локомотивных бригад ОАО «РЖД» по психофизиологическим показателям, утверждённый распоряжением ОАО «РЖД» от 12 октября 2018 г. № 2228/р. Данный порядок ввёл одну группу риска, подразделяющуюся на несколько категорий по различным показателям, связанным с психологическим состоянием и здоровьем («неудовлетворительная адаптация», «срыв адаптации» и т.д.), а также определил возможность устанавливать индивидуальные нормы показателей психофизиологического здоровья для работников локомотивных бригад.

Также в ОАО «РЖД» используются Методические рекомендации по оценке психологической совместимости работников локомотивных бригад ОАО «РЖД». Данные рекомендации направлены на включение в состав локомотивных бригад работников, взаимодополняющих друг друга своими компетенциями и навыками для совершенствования процесса эксплуатации локомотивов [13].

Альтернативный вид ранжирования по техническому состоянию уже применяется в сфере энергетики в соответствии с Методикой оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей, утвержденной приказом Минэнерго РФ от 26 июля 2017 г. № 676. Данная методика определяет порядок расчёта индекса технического состояния различных энергетических объектов (ЛЭП, трансформаторное оборудование и др.), а также виды технического воздействия для каждого диапазона индекса технического состояния. Диапазоны индекса технического состояния приведены в табл. 7.

Таблица 7

Диапазоны индекса технического состояния объектов энергетики [14]

Диапазоны индекса технического состояния	Вид технического состояния	Визуализация (цвет)	Вид технического воздействия
≤ 25	Критическое	Красный	Вывод из эксплуатации
$25 < и \leq 50$	Неудовлетворительное	Оранжевый	Дополнительные ТОиР усиленный контроль тех. состояния, тех. перевооружение
$50 < и \leq 70$	Удовлетворительное	Желтый	Усиленный контроль тех. состояния, капитальный ремонт, реконструкция
$70 < и \leq 85$	Хорошее	Зеленый	По результатам планового диагностирования
$85 < и \leq 100$	Очень хорошее	Зеленый	Плановое диагностирование

Если сравнить положения методики [14] с порядком [4], выявится, что перечень контрольных и ремонтных мероприятий для локомотивов предусмотрен для группы риска в целом; в свою очередь, в методике Минэнерго РФ для каждого технического состояния оборудования предусмотрены свои меры.

Для устройств ЖАТ и СЦБ применяют деление на исправное, работоспособное, частично работоспособное, неработоспособное защитное, неработоспособное опасное, предельное состояния [2]. Данные состояния описывались во введении как часто используемые и для других технических объектов, однако именно для автоматики и электроники их применение наиболее оправдано и удобно за счёт возможности реализации программных, аппаратных защит, систем резервирования (холодный, горячий резерв) и других средств.

Классификация технических состояний и диаграмма перехода между ними для устройств ЖАТ и СЦБ приведена на рис. 2 [2].

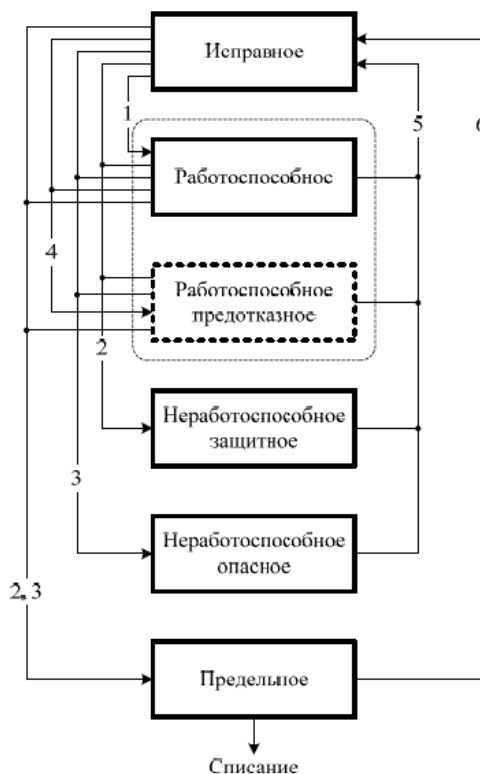


Рис. 2. Классификация состояний, диаграмма перехода между ними для ЖАТ и СЦБ:

1 – повреждение; 2 – защитный отказ; 3 – опасный отказ; 4 – предотказ; 5 – ремонт;
6 – капитальный ремонт

Для локомотивов, как сложных технических устройств, также характерны защитные отказы (благодаря наличию автоматических выключателей в цепях питания, реле заземления и других устройств), однако в используемой классификации технических состояний тягового подвижного состава (например, ГОСТ 33943-2016) отсутствуют неработоспособные защитные состояния. При этом ГОСТ 33943-2016 предусматривает исправное, работоспособное, неработоспособное, опасное, предельное состояния.

Парадоксально, но если для работников локомотивного хозяйства есть две независимые шкалы по оценке их состояния с точки зрения здоровья и профессиональных компетенций и ранее фактически применялось 8 категорий их состояния, существует нормативно закрепленный контроль их готовности к выполнению трудовых задач, а также учёт психологической совместимости составов бригад, если для отдельных серий локомотивов (2ЭС6 и т.д.) и отдельных отказов их оборудования предусмотрено 3 или 4 степени деградации состояния с рекомендациями по ТОиР, то для локомотивов в целом предусмотрено только две категории – наличие/отсутствие в группе риска по надёжности, не учитывается их техническое состояние для оценки готовности выполнения поставленных целей по перевозке грузов и пассажиров. Хотя, как известно из базовых положений системотехники, для сложных систем характерна супераддитивность – когда целое больше суммы частей [15]. Разделение технических состояний сложных технических объектов должно быть более детализированным и комплексным, нежели простая бинарная модель исправен/неисправен или работоспособен/неработоспособен. Такое разделение должно учитывать как рекомендации или предписания в части ТОиР, а также в части эксплуатации, так как такие сложные технические объекты, как локомотивы, в отличие от устройств ЖАТ, СЦБ и других являются не статичными, а динамическими объектами, внешние условия эксплуатации которых и рабочие режимы резко переменны и часто чередуются друг с другом. Поэтому представленная на рис. 2 диаграмма переходов технических объектов из одного состояния в другое лишь частично решает данную задачу ранжирования/разделения технических состояний, так как предусматривает только мероприятия ТОиР, без учёта особенностей эксплуатации, которые характерны для локомотивов. Описанный выше набор мероприятий по усиленному контролю состояния локомотивов и их ТОиР в соответствии с [4] также не является детализированным и сильно зависит от фактического состояния локомотива; при этом дополнительных мер по совершенствованию эксплуатации локомотивов группы риска также не предлагается.

Пример различных исходов эксплуатации локомотива в зависимости от эксплуатационных условий приводится в статье И. К. Лакина, А. П. Семенова [16], где приводится разбор последствий одного и того же отказа выпрямительно-инверторного преобразователя (ВИП) электровоза серии 2ЭС5К в зависимости от условий поездки (массы поезда, величины подъема). Если в момент отказа масса поезда является установленной, а подъем руководящим, предполагается большая вероятность того, что произойдет остановка поезда с необходимостью вызова вспомогательного локомотива, что будет зафиксировано как ОТС 1-й категории. При соблюдении только одного из двух условий в момент отказа ВИП (наличие руководящего подъема или поезда установленной весовой нормы) предполагается снижение установленных характеристик локомотива, как следствие задержка поезда и ОТС 2-й категории. В иных случаях отказ ВИП может быть зафиксирован как ОТС 3-й категории.

Также существующие стандарты не предполагают наличия большого количества локомотивов в группе риска. Известны методы формирования рейтинга машинистов в рамках интеллектуальных систем [17], в то же время ранжирование локомотивов почти не применяется на практике.

В работе [18] было выполнено ранжирование выборок тепловозов серий ТЭ10 и ТЭ25К2М по одной из железных дорог РФ по двум показателям надежности – точечной оценке параметра потока отказов и коэффициенту внутренней готовности, которые рассчитываются по формулам

$$\hat{\omega}_0 = \frac{n}{X_{\Sigma}}, \quad (1)$$

где $\hat{\omega}_0$ – точечная оценка параметра потока отказов, $1/10^6$ млн км;
 n – число ОТС на локомотив;
 X_{Σ} – линейный пробег рассматриваемого локомотива, млн км;

$$K_{вг} = \frac{T_{pc}}{T_{pc} + T_{om}}, \quad (2)$$

где K_{BG} – коэффициент готовности;
 T_{pc} – время пребывания локомотива в работоспособном состоянии, ч;
 $T_{от}$ – время пребывания локомотива в неработоспособном состоянии, ч.

Результат ранжирования приведен на рис. 3 и 4. В обоих случаях ранжирование выполнено по снижению технического состояния (рост параметра потока отказов и снижение коэффициента готовности соответственно). Для удобства сопоставления порядковых позиций локомотивов ось ординат графика ранжирования по точечной оценке параметра потока отказов приведена по возрастанию сверху вниз. Номера локомотивов обеих серий зашифрованы. Показатели надёжности приведены в относительных единицах исключительно для сопоставления технического состояния отдельных локомотивов друг с другом. Красным цветом отмечены локомотивы, совпадающие по порядковой позиции по обоим показателям или сдвинутые не более чем на 8 позиций в большую или меньшую сторону. В случае с выборкой тепловозов серии ТЭ10 совпадение позиций по данному условию наблюдается для 44 % локомотивов, по серии ТЭ25К2М – для 23 %. Несовпадение позиций свидетельствует о разном характере показателей надёжности. При этом для обеих серий в крайней правой части двух групп графиков оказались 4 наименее надёжных локомотива [18].

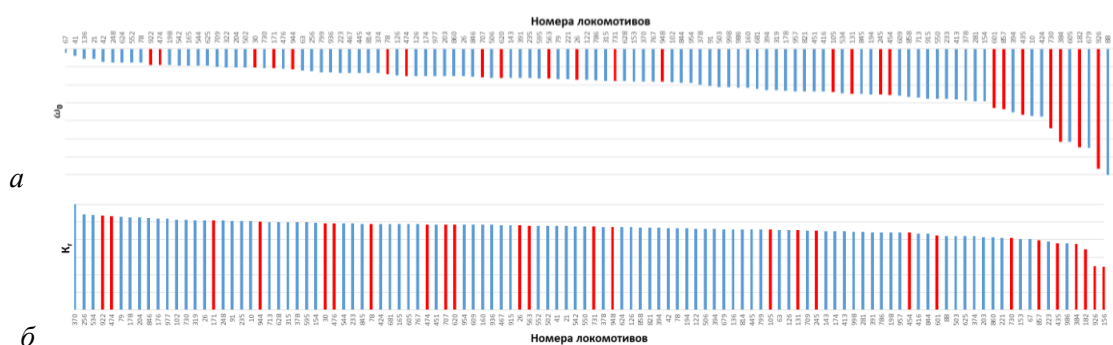


Рис. 3. Ранжирование локомотивов серии ТЭ25К2М:

а – по точечной оценке параметра потока ОТС; *б* – по коэффициенту готовности

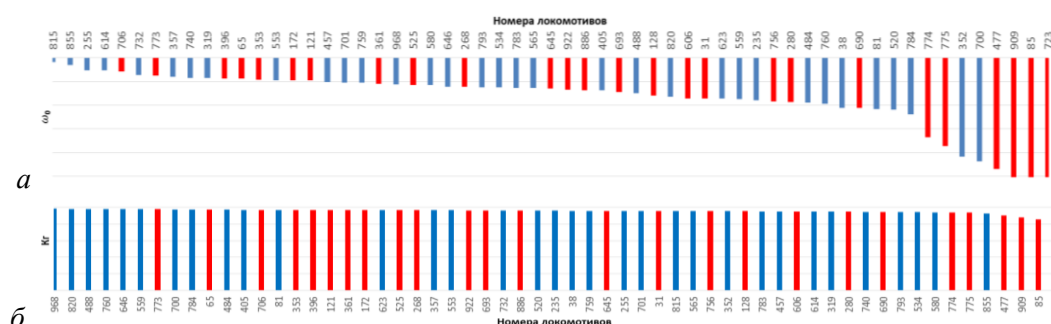


Рис. 4. Ранжирование локомотивов серии ТЭ10:

а – по точечной оценке параметра потока ОТС; *б* – по коэффициенту готовности

Также в указанной работе [18] произведено определение числа локомотивов в рассматриваемых выборках, которые попадают по критериям [4] в группу риска, а именно локомотивы, имеющие три и более ОТС 1-й и 2-й категорий после планового ТОиР или 5 неплановых ремонтов в отчётный период, равный 90 суткам. На языке MS Visual Basic for Application была разработана программа для обработки табличного массива Excel с данными об отказах локомотивов выборки в соответствии с требованиями [4]. Результат обработки данных по ОТС показал, что в 2024 г. 83 % локомотивов серии ТЭ25К2М и 41 % локомотивов серии ТЭ10 выборок входили в группу риска.

Результаты расчёта количества тепловозов, попадающих в группу риска из выборки, показывают, что если такой значимый процент тепловозов попадает в группу риска, то велик риск того, что ко всем указанным тепловозам будет крайне затруднительно выполнить весь перечень контрольных и ремонтных мероприятий, предусмотренных [4], в дополнение к мероприятиям планового ТОиР. В то же время неравномерность технического состояния тепловозов на основе оценки показателей

надёжности на рис. 3 и 4 показывает, что возможно ранжировать парк локомотивов на большее число групп, нежели две группы «локомотивов группы риска» и «локомотивов вне группы риска».

Предложим три варианта разграничения технического состояния локомотивов.

Первым рассмотрим наивный байесовский классификатор групп риска локомотивов по техническому состоянию на основе их показателей надёжности. Байесовские классификаторы базируются на принципе соответствия объекта одному из классифицируемых состояний с определенной вероятностью при наличии ряда значимых признаков этого состояния. Порядок [4] выделяет в качестве более значимого критерия ОТС, нежели НР, так как для включения локомотива в группу риска требуется всего три ОТС 1, 2-й категорий, а НР требуется в количестве пяти. Однако ОТС могут быть самой различной природы; далеко не всегда ОТС по степени тяжести равнозначен НР. Необходимость отправки локомотива на НР всегда требует исключения локомотива из рабочего парка; пересылка локомотива на НР может занимать несколько суток, как и сам НР. В то же время ОТС далеко не всегда приводит к НР локомотива. После ОТС восстановительные работы по локомотиву часто могут быть выполнены в рамках планового ТОиР. Дискуссионным является вопрос о том, что является более тяжёлым для перевозочного процесса – вывод локомотивов на НР и уменьшение числа доступных тяговых ресурсов на несколько дней в условиях дефицита парка локомотивов, или ОТС на 1–2 ч.

Поэтому предложим классификацию технических состояний локомотивов по нескольким категориям по риску, критерии отнесения к каждой из категорий, а также рекомендательные меры/предписания по ТОиР для каждой из этих групп на основе порядка [4] в табл. 8.

Таблица 8

Наивный байесовский классификатор технических состояний локомотива по категориям риска и рекомендации/предписания по эксплуатации и ТОиР для каждой категории

№	Категория риска	Критерий отнесения к категории риска	Рекомендации/предписания по эксплуатации	Рекомендации/предписания по ТОиР
1	Минимальный риск	Критерии прочих категорий риска отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют
2	Умеренный риск	ИЛИ $0 < \text{Количество ОТС 1, 2 категорий} < 3$		Детализированная оценка тех. состояния по МПСУ и т.д.
		ИЛИ $0 < \text{Количество НР} < 3$		
		ИЛИ $0,99 < K_{BG} < 1$		
		ИЛИ $0 < \hat{\omega}_0 < 5$		
3	Допустимый риск	ИЛИ три критерия отнесения к группе умеренного риска одновременно	Ограничить постановку под поезда критической массы, в зависимости от результатов контроля после ТОиР	Комиссионная приёмка после ТОиР
		ИЛИ $3 \leq \text{Количество НР} < 5$		
		ИЛИ $3 \leq \text{Количество ОТС 1, 2 категорий} < 5$		
		ИЛИ $0,98 < K_{BG} < 0,99$		
4	Нежелательный риск	ИЛИ два критерия отнесения к группе допустимого риска	Не ставить с поездом критической массы на участки с максимальными на данной ж. д. руководящими подъемами	Направление уведомления в сервисную компанию для восстановления характеристик локомотива до ТУ
		ИЛИ $5 \leq \text{Количество НР} < 7$		
		ИЛИ $0,975 \leq K_{BG} < 0,98$		
		ИЛИ $5 \leq \text{Количество ОТС 1, 2 категорий}$		
5	Недопустимый риск	ИЛИ два критерия отнесения к группе нежелательного риска	Не ставить под поезда критической массы	Комиссионное решение о внеочередном крупном ремонте (ТР-2, ТР-3, СР, КР)
		ИЛИ $K_{BG} < 0,975$		
		ИЛИ $7 \leq \hat{\omega}_0$		
		ИЛИ $7 \leq \text{Количество НР}$		

Второй вариант разграничения технических состояний локомотивов – введение вектора отклонений параметров ΔX локомотива от допустимых требованиями технических условий или документации на локомотив или уставок МПСУ.

В общем виде такой вектор ΔX для режима m будет определяться формулой

$$\Delta X_m = (\Delta X_1, \Delta X_2, \dots, \Delta X_t, \dots, \Delta X_n), \quad (3)$$

где $\Delta X_1 \div \Delta X_n$ – отклонения параметров с 1-го по n -й.

При отсутствии отклонений при свертке вектора ΔX_m результат свертки может быть принят равным 0.

Кроме вектора отклонений ΔX_m введем также вектор режимов работы локомотива N_m , в каждом из которых предусмотрена верхняя и нижняя границы каждого параметра для данного режима m . Вектор режимов определяется по формуле N_m

$$N_m = \begin{pmatrix} N_{m1 \max}, \dots, N_{mt \max}, \dots, N_{mn \max} \\ N_{m1 \min}, \dots, N_{mt \min}, \dots, N_{mn \min} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где $N_{mt \max}$ – максимально допустимое значение параметра для режима m ;

$N_{mt \min}$ – минимально допустимое значение параметра для режима m .

В случае наличия отклонения ΔX_t свыше установленного максимального значения $N_{mt \max}$ или ниже установленного минимального значения $N_{mt \min}$ при свертке вектора отклонений ΔX_m в зависимости от числа отклонений результат свертки вектора может быть принят равным 1, 2, 3... (числу отклонений или другому) в зависимости от условий свёртки.

Тогда по общему вектору результатов свертки ΔX возможно судить, в каких режимах и какое количество отклонений от нормальной работы наблюдается. Вектор результатов свертки будет равен

$$\Delta X' = (\Delta X'_1, \dots, \Delta X'_t, \dots, \Delta X'_n), \quad (5)$$

где $\Delta X'_t$ – результат свертки вектора отклонений параметров ΔX_t .

В зависимости от количества отклонений параметров локомотива от нормированных значений будет определяться ранжирование его технических состояний по образцу табл. 8.

Третий вариант разграничения технических состояний локомотивов – комбинирование наивного классификатора, основанного на показателях надёжности и оценки отклонений реальных параметров работы локомотива от номинальных значений, как во втором варианте выше. Такой вариант позволит учитывать как обобщенную оценку состояния локомотива (по показателям надёжности), так и точечные отклонения, вызванные износом или деградацией конкретных узлов или систем.

На рис. 5 приведен возможный алгоритм разграничения технических состояний локомотивов, комбинирующий описанные выше первый и второй варианты. После отнесения локомотива в одну из групп риска классификатором проверяются данные микропроцессорной системы управления (МПСУ) данного локомотива за несколько последних поездов. В зависимости от числа отклонений локомотив либо переводится в группу меньшего риска, либо остается в своей группе риска, либо переводится в более высокую группу риска на период времени T . После истечения «гарантийного» периода T локомотив возвращается в группу риска, заданную классификатором. Опционально может проводиться повторная оценка классификатором или оценка данных МПСУ.

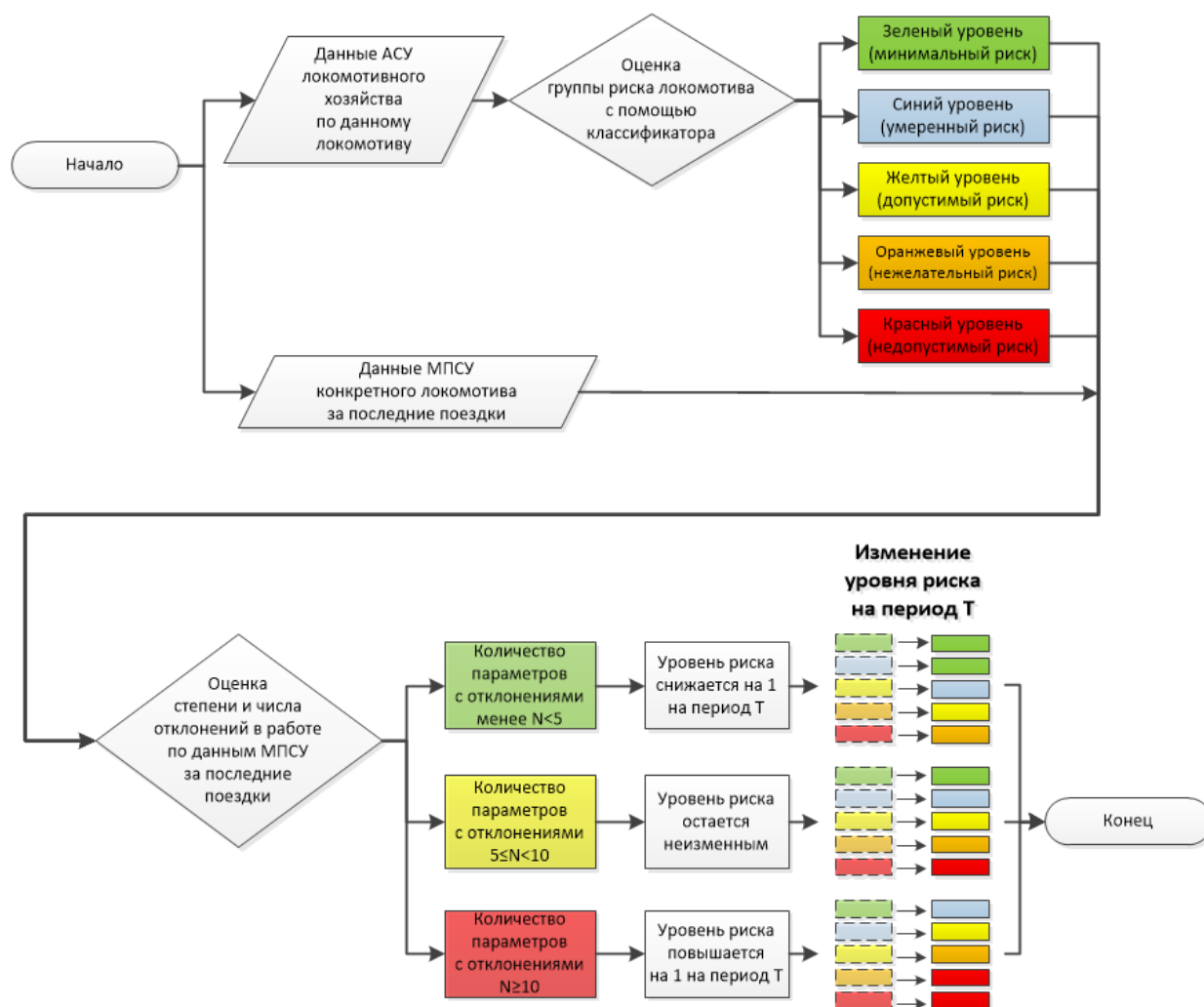


Рис. 5. Алгоритм разграничения технических состояний локомотива (комбинированный вариант)

Выводы

В статье рассмотрены нормативно установленные виды технических состояний локомотивов, а также фактически используемые заводами-изготовителями способы разграничения в рамках процесса ТОиР. В связи с тем, что техническая диагностика базируется на теории распознавания образов, для сравнения приведены примеры разграничения состояний (образов) из нормативно-технической документации в сфере надёжности, технические состояния объектов ЖАТ и СЦБ, объектов энергетики, а также методики распределения работников локомотивного хозяйства по группам риска (по состояниям), которые являются куда более развернутыми по сравнению с методикой разграничения технических состояний локомотивов (8 категорий состояний машинистов против двух категорий состояний локомотивов).

Результаты ранжирования выборки тепловозов нескольких серий, а также оценка того, какое их количество попадет в группу риска показывают, что при существующей методике отнесения локомотивов в группу риска ремонтному комплексу будет затруднительно выполнить полный комплекс ТОиР, предусмотренный для группы риска в дополнение к плановому и внеплановому ТОиР.

В качестве усовершенствования нормативно закрепленных видов технических состояний локомотивов (вне группы риска/в группе риска) предложено использовать наивный байесовский классификатор для отнесения локомотивов в несколько категорий риска по их техническим состояниям на основе показателей надёжности; для каждой категории риска предусмотрены свои рекомендации по эксплуатации и ТОиР. Также предложено два других варианта разнесения локомотивов по техническим состояниям (на основе оценки отклонений рабочих параметров локомотива от норматива и комбинированный вариант).

Список литературы

- 1 ГОСТ Р 27.102-2021. Надёжность в технике. Надёжность объекта. Термины и определения. – Москва : РИС, 2021. – 40 с.
- 2 Ефанов, Д. В. Микропроцессорная система диспетчерского контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: учебное пособие для вузов / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 180 с. – ISBN 978-5-507-46132-5, 978-5-8114-8991-6.
- 3 Инструкция по учёту локомотивов, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 29 октября 2012 года N 2155 р // Консорциум Кодекс : электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456001763> (дата обращения: 25.02.2026).
- 4 Порядок работы с локомотивами группы риска (утверждён распоряжением ОАО «РЖД» от 20.12.2022 г. N 3383/р) // КонсультантПлюс : правовой сайт. – URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 25.02.2026).
- 5 МПСUiD. Программное обеспечение блока монитор. Руководство оператора. Лист утверждения RU.ЦСРТ.426465.001-01 34 03-ЛУ. – Москва : ООО «Центр инновационного развития СТМ», 2022. – 25 с.
- 6 Брексон, В. В. Электровоз 2ЭС6 «Синара» : монография / В. В. Брексон, Н. Б. Никифорова, А. А. Струннов ; под ред. В. В. Брексона. – Верхняя Пышма : Уральские локомотивы, 2015. – 328 с. – ISBN 978-5-89277-120-7.
- 7 «Микропроцессорная система управления и диагностики электровоза 2ЭС6 «Синара» // 3DFAB : электронный образовательный ресурс. – URL: https://www.3dfab.ru/portfolio/tutorial-2es6_mpsuid/ (дата обращения: 14.01.2026).
- 8 Контеев, В. Д. Развитие удаленной диагностики и мониторинга технического состояния новых серий локомотивов / В. Д. Контеев, Д. Л. Худояров, О. И. Ветлугина // Железнодорожный транспорт и технологии : сборник трудов Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 29–30 ноября 2023 года. – Екатеринбург : Уральский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 53–56. – EDN XRYOIP.
- 9 Науменко, А. П. Введение в техническую диагностику и неразрушающий контроль : учебное пособие / А. П. Науменко. – Омск : ОмГТУ, 2019. – 152 с. – ISBN 978-5-8149-2812-2.
- 10 Воронкова, И. Н. Возможности применения АСПТ и автоматизированного ранжирования локомотивных бригад / И. Н. Воронкова, А. В. Новикова // Локомотив. – № 2. – 2021. – С. 8–10. – ISSN 0869-8147.

References

- 1 GOST R 27.102-2021. Reliability in engineering. Facility reliability. Terms and definitions. – Moscow : RIS, 2021. – 40 p.
- 2 Efanov, D. V. Microprocessor-based system for dispatching control of railway automation and telemechanics devices : a textbook for universities / D. V. Efanov, G. V. Osadchiy. – 2nd ed., reprinted. – Saint Petersburg : Lan, 2022. – 180 p. – ISBN 978-5-507-46132-5, 978-5-8114-8991-6.
- 3 Instruction on locomotive accounting, approved by Order of JSC “Russian Railways” dated October 29, 2012, No. 2155 r // Consortium Code : an electronic collection of legal and regulatory documents. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456001763> (date of access: 25.02.2026).
- 4 Procedure for working with locomotives of the risk group, approved by Order of JSC “Russian Railways” dated December 20, 2022, No. 3383/r // ConsultantPlus : legal website. – URL: <https://www.consultant.ru/> (date of access: 25.02.2026).
- 5 MPSUiD (Microprocessor control and diagnostic system). Monitoring unit software. Operator’s manual. Approval sheet RU.TsSRT.426465.001-01 34 03-LU. – Moscow : LLC “Center for Innovative Development STM”, 2022. – 25 p.
- 6 Brekson, V. V. Electric locomotive 2ES6 “Sinara” : monograph / V. V. Brekson, N. B. Nikiforova, A. A. Strunnov ; edited by V. V. Brekson. – Verkhnyaya Pyshma : Ural Locomotives, 2015. – 328 p. – ISBN 978-5-89277-120-7.
- 7 Microprocessor control and diagnostics system for the 2ES6 Sinara electric locomotive // 3DFAB : an electronic educational resource. – URL: https://www.3dfab.ru/portfolio/tutorial-2es6_mpsuid/ (date of access: 14.01.2026).
- 8 Konteev, V. D. Development of remote diagnostics and monitoring of the technical condition of new locomotive series / V. D. Konteev, D. L. Khudoyarov, O. I. Vetlugina // Railway transport and technologies : proceedings of the International scientific and practical conference, Yekaterinburg, November 29–30, 2023. Ural State Transport University. – Yekaterinburg, 2024. – P. 53–56. – EDN XRYOIP.
- 9 Naumenko, A. P. Introduction to technical diagnostics and non-destructive testing : a textbook / A. P. Naumenko. – Omsk : Omsk State Technical University, 2019. – 152 p. – ISBN 978-5-8149-2812-2.
- 10 Voronkova, I. N. Possibilities of applying ASPT and automated ranking of locomotive crews / I. N. Voronkova, A. V. Novikova // Lokomotiv. – 2021. – No. 2. – P. 8–10. – ISSN 0869-8147.

11 Положение о машинисте-инструкторе локомотивных бригад Дирекции тяги, утвержденное распоряжением ОАО «РЖД» от 9 апреля 2018 г. № 707/р // КонсультантПлюс : правовой сайт. – URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=668103#y0nH7FV0ictfeLT21> (дата обращения: 01.02.2026).

12 Методика формирования групп риска работников локомотивных бригад по медицинским и психофизиологическим показателям : утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 1 декабря 2011 г. N 330 // КонсультантПлюс : правовой сайт. – URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 25.02.2026).

13 Методические рекомендации по оценке психологической совместимости работников локомотивных бригад ОАО «РЖД», утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 6 октября 2025 г. № 2102р // КонсультантПлюс : правовой сайт. – URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 25.01.2026).

14 Методика оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей : утверждена приказом Минэнерго РФ от 26 июля 2017 г. № 676 // Консорциум Кодекс : электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456088008> (дата обращения: 15.02.2026).

15 **Горохов, В. Г.** Методологический анализ системотехники : монография / В. Г. Горохов. – Москва : Радио и связь, 1982. – 160 с.

16 **Лакин, И. К.** Расчет вероятности категорий отказов по надежности оборудования локомотивов / И. К. Лакин, А. П. Семенов // Известия Транссиба. – 2020. – № 4 (44). – С. 2–8. – ISSN 2220-4245.

17 **Кулагин, М. А.** Методы формирования рейтинга машинистов в рамках интеллектуальной системы / М. А. Кулагин, В. Г. Сидоренко, О. В. Харин // Интеллектуальные транспортные системы : материалы II Международной научно-практической конференции, Москва, 25 мая 2023 года. – Москва : Российский университет транспорта, 2023. – С. 205–211. – DOI 10.30932/9785002182794-2023-205-211.

18 **Потапов, А. А.** Применение методов ранжирования по техническому состоянию парка локомотивов в пределах серии / А. А. Потапов // Повышение эксплуатационной надежности локомотивного парка, комплексная диагностика и мониторинг : материалы Всероссийского научно-образовательного форума «ТРАНССИБВУЗ-2025» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2025. – С. 59–65.

11 Regulations on the locomotive driver-instructor of the Traction Directorate's locomotive crews, approved by Order of JSC “Russian Railways” dated April 9, 2018, No. 707/r // ConsultantPlus : legal website. – URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=668103#y0nH7FV0ictfeLT21> (date of access: 01.02.2026).

12 Methodology for forming risk groups of locomotive crew employees based on medical and psychophysiological indicators : approved by Order of JSC “Russian Railways” dated December 1, 2011, No. 330 // ConsultantPlus : legal website. – URL: <https://www.consultant.ru/> (date of access: 25.02.2026).

13 Methodological recommendations for assessing psychological compatibility of locomotive crew employees of JSC “Russian Railways”, approved by Order of JSC “Russian Railways” dated October 6, 2025, No. 2102r // ConsultantPlus : legal website. – URL: <https://www.consultant.ru/> (date of access: 25.01.2026).

14 Methodology for assessing the technical condition of main technological equipment and power transmission lines of power plants and electric networks : approved by Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated July 26, 2017, No. 676 // Consortium Code : electronic collection of legal and regulatory documents. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456088008> (date of access: 15.02.2026).

15 **Gorokhov, V. G.** Methodological analysis of systems engineering : monograph. – Moscow : Radio i svyaz, 1982. – 160 p.

16 **Lakin, I. K.** Calculation of the probability of failure categories based on the reliability of locomotive equipment / I. K. Lakin, A. P. Semenov // Izvestiya Transsiba. – 2020. – No. 4 (44). – P. 2–8. – ISSN 2220-4245.

17 **Kulagin, M. A.** Methods for forming a driver rating within an intelligent system / M. A. Kulagin, V. G. Sidorenko, O. V. Kharin // Intelligent transport systems : proceedings of the II International scientific and practical conference, Moscow, May 25, 2023. Moscow : Russian University of Transport, 2023. – P. 205–211. – DOI 10.30932/9785002182794-2023-205-211.

18 **Potapov, A. A.** Application of ranking methods based on the technical condition of a locomotive fleet within a series / A. A. Potapov // Improving the operational reliability of the locomotive fleet, integrated diagnostics and monitoring : proceedings of the All-Russian scientific and educational forum “TRANSSIBVUZ-2025” / Omsk State Transport University. – Omsk, 2025. – P. 59–65.

A. K. Plyaskin, A. A. Potapov

METHODS FOR DIFFERENTIATING TECHNICAL CONDITIONS OF LOCOMOTIVES

Abstract. The problem of differentiating between the technical conditions (TC) of locomotives is examined. The differentiating and identification of technical states constitute one of the primary tools of technical diagnostics, based on the theory of pattern recognition. Examples of technical conditions classification (patterns) drawn from the regulatory and technical framework in the field of reliability are presented, alongside the examples of technical conditions for railway signals and interlocking devices, an example of TC from the energy sector, and types of risk groups (conditions) of locomotive crew members are provided. The presented comparison reveals that more detailed methods for distinguishing TC exist for individual locomotive components and assemblies than for the entire locomotive, despite its complexity and the principle of superadditivity (a system is more complex than the sum of its parts).

The effectiveness of the current methodology for classifying locomotives into risk groups is evaluated. Using the existing methods of distribution, due to the large number of high-risk locomotives, the repair complex will not be able to perform the specified amount of work due to the availability of maintenance plans and unplanned repairs.

In order to improve the operation of locomotives, several new methods for classifying their operational characteristics are proposed: using a naive Bayesian classifier based on reliability indicators, assessing the deviation of locomotive operating (working) parameters from the standard, and a combined method.

Keywords: management of the locomotive fleet, technical condition, risk condition, Bayesian classifier, criterion.

For citation: Plyaskin, A. K. Methods for differentiating technical conditions of locomotives / A. K. Plyaskin, A. A. Potapov // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2026. – No. 1. – P. 121–134. – DOI 10.46973/0201–727X_2026_1_121.

Сведения об авторах

Пляскин Артем Константинович

Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС), проректор по учебной работе, кандидат технических наук, доцент, e-mail: prur@festu.khv.ru

Потапов Антон Андреевич

Хабаровская группа заказчика по строительству объектов железнодорожного транспорта – обособленное подразделение Дирекции по комплексной реконструкции железных дорог и строительству объектов железнодорожного транспорта – филиал ОАО «РЖД», ведущий инженер, e-mail: thenorthkambox@mail.ru

Information about the authors

Plyaskin Artem Konstantinovich

Far Eastern State Transport University (FESTU), Vice-rector for academic work, Candidate of Engineering Science, Associate Professor e-mail: prur@festu.khv.ru

Potapov Anton Andreevich

The Khabarovsk customer group for the construction of railway facilities – a separate division of the Directorate for the Comprehensive Reconstruction of Railways and the Construction of Railway Facilities – a branch of JSC “Russian Railways”, Lead Engineer, e-mail: thenorthkambox@mail.ru