



Направления повышения эффективности эксплуатации локомотивов



Игорь ЛАКИН



Александр СЕМЕНОВ



Игорь ХРОМОВ

Лакин Игорь Капитонович – Дорожный центр внедрения Красноярской железной дороги, Красноярск, Россия.

Семенов Александр Павлович – Научно-исследовательский институт технологии, контроля и диагностики железнодорожного транспорта (НИИТКД), Омск, Россия.

Хромов Игорь Юрьевич – ООО «ЛокоТех», Москва, Россия.*

В статье выполнен анализ статистики эксплуатации локомотивов и определены основные направления повышения эффективности тяги поездов. Основная цель исследования – выявление факторов повышения надёжности локомотивов.

При этом использованы данные выборки по 40 локомотивам всех основных серий, эксплуатируемых в России, за 400–500 дней эксплуатации, что гарантирует достоверность полученных результатов. Метод исследования – статистическая обработка данных. При этом в дополнение к общепринятым состояниям «исправное» и «неисправное» рассмотрены новые «в голове поезда» (полезная

работа) и ряд других. Введён коэффициент полезной работы. В результате доказан реально возможный уровень полезного использования локомотива до 75 % от общего времени против 49 % в настоящее время. Показано, что сокращение времени и стоимости технического обслуживания и ремонта локомотивов (ТОиР) является важным направлением повышения эффективности эксплуатации локомотивов. При этом ранее было показано, что одна из причин перепростоя локомотивов на ремонте – это существенный объём нарушений режимов эксплуатации, что было подтверждено статистическими данными.

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, локомотив, эффективность эксплуатации локомотивов, техническое обслуживание и ремонт, нарушения режимов эксплуатации, алгоритмические защиты.

*Информация об авторах:

Лакин Игорь Капитонович – доктор технических наук, профессор, первый заместитель генерального директора АО «Дорожный центр внедрения Красноярской железной дороги» (АО «ДЦВ Красноярской железной дороги»), Красноярск, Россия, i.k.lakin@dcv.ru.

Семенов Александр Павлович – кандидат технических наук, генеральный директор ОАО «НИИ Технологии, контроля и диагностики железнодорожного транспорта» (ОАО «НИИТКД»), Омск, Россия, corp@niitkd.ru.

Хромов Игорь Юрьевич – главный специалист ООО «ЛокоТех», Москва, Россия, KhromovIYu@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 09.07.2019, актуализирована 16.12.2019, принята к публикации 20.12.2019.

For the English text of the article please see p. 88.

Повышение эффективности использования локомотивов является одной из важнейших составляющих роста эффективности перевозочной деятельности железнодорожной компании — оператора подвижного состава. Для определения основных направлений повышения эффективности тяги поездов необходимы совершенствование методов анализа статистики эксплуатации локомотивов, построение методологической базы оценки рекомендаций по повышению надёжности использования локомотивов и, соответственно, его эффективности.

В этих целях авторами предлагаются результаты исследования, основанного на *методах* анализа статистических данных эксплуатации локомотивов основных серий, используемых в России, на сети ОАО «РЖД». Основная *цель* исследования — выявление факторов повышения надёжности локомотивов.

1. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОКОМОТИВОВ: ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ПРИМЕНЁННАЯ МЕТОДИКА СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В информационной системе оперативного управления перевозками (далее — АСОУП) компании ОАО «РЖД» [1] в процессе управления движением поездов среди прочих параметров перевозочного процесса фиксируется использование локомотивного парка. Авторами выполнен анализ этих данных для выявления резервов повышения эффективности локомотивной тяги. Для обеспечения достоверности выводов об эффективности использования локомотивов взята репрезентативная выборка по наиболее массовым сериям локомотивов, включающим электровозы ВЛ10, ВЛ80Р, ВЛ80С, ВЛ85, 2(3)ЭС5К, 2(3)ЭС4К, тепловозы 2(3)ТЭ10МК, 2ТЭ25КМ и 2ТЭ116У. По каждой серии из информационной системы АСОУП взято по 40 локомотивов, что представляет собой статистически достоверную (репрезентативную), случайным образом сформированную выборку. По каждому локомотиву выбраны сведения за 400–500 дней эксплуатации с мая 2017 года по октябрь 2018 года. Общее число исходных данных — около 5 млн событий. Обработка данных

осуществлена с использованием специально разработанной авторами программы на алгоритмическом языке Visual BASIC for Applications (VBF) в среде Excel (подробнее об алгоритмическом языке см., напр. [2]). Предварительно из выборок с использованием правила трёх сигм [3, с. 67] удалены артефакты, относящиеся к локомотивам, длительно находившимся в запасе или на внеплановом ремонте. В результате по ряду серий число наблюдаемых экземпляров локомотивов сократилось с $N = 40$ до $N = 38$.

В АСОУП данные об эксплуатации локомотивов классифицированы, для чего используется более 100 кодов состояний: «тяга в голове поезда», «обслуживание на пункте технического обслуживания локомотивов (ПТОЛ)», «ожидание работы», «ожидание ТО-2» (ТР-1, ТР-2 и др.), «ожидание ремонта», «обточка колёсных пар», «подготовка к заводскому ремонту» и др. Все эти состояния обычно делятся на две группы: «исправное» и «неисправное». Исходя из этого, введены коэффициент технической готовности (КТГ) или коэффициент готовности к эксплуатации (КГЭ), которые позволяют оценить надёжность локомотивов, но не позволяют оценить эффективность использования локомотивов в целом. Много потерь имеет место и когда локомотив исправен, так как полезную работу магистральные локомотивы совершают в основном в состоянии «тяга в голове поезда». Все остальные состояния, согласно терминологии методов Lean Production и Toyota Production System [4–6], следует отнести к потерям первого (можно устранить сразу) и второго рода. В связи с этим предлагается показатель «коэффициент (процент) полезной работы» $K_{АП}$:

$$K_{АП} = T_{тяга} / \sum T_i, \quad (1)$$

или

$$K_{АП} = 100 \% \cdot T_{тяга} / \sum T_i, \quad (2)$$

где $T_{тяга}$ — время нахождения локомотива в состоянии «тяга в голове поезда»;

$\sum T_i$ — общее время жизненного цикла локомотива за рассматриваемый период.

По выборкам локомотивов по каждой серии в объёме N рассчитаны классические статистические параметры: математическое ожидание коэффициента $K_{АП}$, его среднеквадратичное отклонение σ , коэф-



Статистика полезной работы локомотивов по сериям

Серия/ Параметр	Выборка, N	К-т полезной работы, $K_{\text{ЛП}}$	СКО, σ	К-т вариации, K_v	Мин. значение, Min	Макс. значение, Max	Критерий Пирсона, χ^2	Вероятность соотв., P
ВЛ10	40	40 %	13	0,3	8 %	52 %	42,5	0,000
ВЛ80С	40	53 %	14	0,3	18 %	73 %	8,7	0,050
ВЛ80Р	39	65 %	5	0,1	53 %	73 %	7,4	0,100
ВЛ85	39	71 %	4	0,1	61 %	76 %	19,9	0,000
2ЭС5К	40	44 %	13	0,3	16 %	71 %	3,3	0,500
3ЭС5К	39	66 %	8	0,1	29 %	76 %	290,3	0,000
2ЭС4К	40	33 %	11	0,3	5 %	50 %	8,1	0,050
3ЭС4К	40	51 %	7	0,1	34 %	58 %	23,1	0,000
2ТЭ116У	40	40 %	11	0,3	15 %	57 %	11,8	0,010
2ТЭ25КМ	40	41 %	7	0,2	24 %	49 %	14,5	0,001
2ТЭ10МК	40	34 %	12	0,4	14 %	57 %	8,0	0,050
3ТЭ10МК	40	37 %	13	0,3	5 %	55 %	13,5	0,001
В среднем		48,1 %				76,2 %		

коэффициент вариации K_v , минимальное Min и максимальное Max значения. По критерию Пирсона рассчитан показатель χ^2 и вероятность P соответствия нормальному закону распределения случайной величины, что рассматривается как признак уни-modalности данных: по закону больших чисел унимодалные выборки стремятся к нормальному распределению, а объём выборки позволяет пользоваться этим законом. Основные результаты приведены в табл. 1.

2. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОКОМОТИВОВ: ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА И ФАКТОР ТОиР

Выполненный анализ показал, что в среднем коэффициент (процент) полезной работы $K_{\text{ЛП}} < 50 \%$. У электровозов коэффициент $K_{\text{ЛП}}$ существенно выше. Полученные данные не являются унимодалными, причина этого – различные условия эксплуатации локомотивов в течение года. Относительно унимодалными являются данные по локомотивам серии 2ЭС5К ($P = 0,5$), занятым в местной и вывозной работе. Самой эффективной является эксплуатация локомотивов серии ВЛ85 (71,4 % при максимальном 76,2 %). Отметим достоверность вывода, так как по каждому из 40 локомотивов по каждой серии рассмотрен период в 400–500 дней

их эксплуатации. Поэтому коэффициент эффективности использования локомотивов $K_{\text{ЛП}} = 75 \%$ корректно принять за целевой показатель.

Традиционный показатель, характеризующий эффективность эксплуатации локомотивов, – это среднесуточный пробег. Расчёт показал, что корреляция этого показателя с коэффициентом эффективности $K_{\text{ЛП}}$ составляет $r = 0,993$, то есть практически равен 100 %. Таким образом, достаточно рассматривать один из этих двух параметров. При этом параметр коэффициента эффективности является более удобным, так как позволяет сравнивать эффективность тяги по различным сериям локомотивов в различных регионах и полигонах.

Авторами рассмотрены основные потери полезного времени локомотива. Один из основных источников потерь – ожидание работы в исправном состоянии, которое превышает 10 % от времени полезной работы, а для отдельных серий достигает 40 %.

Важный резерв повышения коэффициента полезной работы $K_{\text{ЛП}}$ – повышение эффективности технического обслуживания и ремонта локомотивов (ТОиР). В качестве интегрированного показателя взят процент нахождения локомотивов во всех состояниях, связанных с ТОиР (табл. 2),



с аналогичными табл. 1 статистическими показателями.

Унимодальность данных по критерию Пирсона χ^2 достаточно выражена у электровозов переменного тока старых серий ВЛ80 и ВЛ85 с одновременно низким коэффициентом вариации K_v . У новых серий 2(3)ЭС5К продолжается отладка технологических процессов технического обслуживания и ремонта, из-за чего процесс мультимодален. У тепловозов и электровозов постоянного тока унимодальность практически отсутствует, что связано с наличием сверхцикловых работ и неплановых ремонтов. Об этом же свидетельствует

высокий коэффициент вариации K_v . По результатам расчётов процент времени на ТОиР существенно превышает расчётный (5%), который поставлен в качестве целевого в перспективном плане развития ОАО «РЖД» 5% [7, с. 42] и составляет от 11,6 до 37,1%. Наименьший простой на ТОиР имеют электровозы переменного тока (10,5%). Имеются отдельные локомотивы со среднегодовым простоем на обслуживании менее 5% – это электровозы серий ВЛ80С (4,1%), ЗЭС5К (4,7%) и ВЛ10 (2,5%). Близок к 5% показатель у серий 2ЭС4К (5,1%), ЗЭС4К (5,8%), 2ТЭ10МК (5,4%). Следовательно, сокращение про-

Таблица 2

Статистика времени ТОиР в общем бюджете времени локомотива

Серия/ Параметр	Выборка, N	К-т полезной работы, $K_{АП}$	СКО, σ	К-т вариации, K_v	Мин. значение, Min	Макс. значение, Max	Критерий Пирсона, χ^2	Вероятность соотв., P
ВЛ10	39	13 %	6,6	0,5	2 %	31 %	14,70	0,001
ВЛ80С	38	10 %	3,7	0,4	4 %	20 %	4,70	0,300
ВЛ80Р	39	11 %	2,1	0,2	7 %	15 %	1,70	0,700
ВЛ85	39	10 %	1,9	0,2	6 %	14 %	2,20	0,700
2ЭС5К	39	10 %	4,6	0,4	3 %	20 %	6,70	0,100
ЗЭС5К	40	10 %	3,7	0,4	5 %	18 %	10,80	0,020
2ЭС4К	40	17 %	6,9	0,4	5 %	37 %	5,40	0,200
ЗЭС4К	39	12 %	5,2	0,4	6 %	26 %	10,80	0,020
2ТЭ116У	39	19 %	6,4	0,3	8 %	34 %	2,10	0,700
2ТЭ25КМ	39	15 %	4,2	0,3	7 %	24 %	7,80	0,050
2ТЭ10МК	40	20 %	7,3	0,4	5 %	37 %	2,30	0,500
3ТЭ10МК	40	25 %	9,5	0,4	10 %	52 %	6,00	0,100



Статистика по видам (объёмам) ТОиР

Серии/ показатель	ТОиР в бюджете времени	Процент времени по различным видам ТОиР в общем бюджете времени без учёта ожидания				
		ТО-2	ТР-1	ТР-2	ТР-3	НР
ВЛ10	8 %	14 %	74 %	3 %	3 %	6 %
ВЛ80С	4 %	29 %	46 %	4 %	5 %	16 %
ВЛ80Р	5 %	31 %	35 %	5 %	5 %	24 %
ВЛ85	6 %	27 %	37 %	7 %	10 %	19 %
2ЭС5К	3 %	45 %	28 %	3 %	8 %	15 %
3ЭС5К	3 %	36 %	35 %	6 %	12 %	12 %
2ЭС4К	5 %	37 %	37 %	1 %	9 %	16 %
3ЭС4К	55 %	15 %	45 %	8 %	15 %	17 %
2ТЭ116У	4 %	21 %	16 %	14 %	13 %	36 %
2ТЭ25КМ	3 %	39 %	25 %	21 %	0 %	15 %
2ТЭ10МК	7 %	19 %	32 %	7 %	6 %	36 %
3ТЭ10МК	10 %	17 %	22 %	10 %	2 %	49 %
В среднем	5 %	28 %	36 %	7 %	7 %	22 %

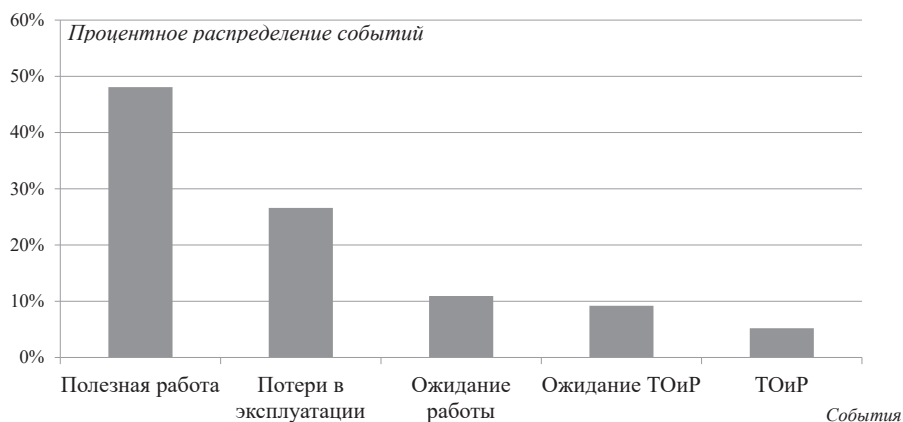


Рис. 1. Среднее распределение бюджета времени локомотивов.

стоя по электровозам переменного тока до 5 % является возможным. Простой на техническом обслуживании и ремонте значительно влияет на среднесуточный пробег локомотивов: коэффициент корреляции $r = -0,87$. У тепловозов новых серий простой на ТОиР хоть и выше заданного, но существенно ниже, чем у старых серий: 2ТЭ116У – 18,5 %, 2ТЭ25КМ – 14,9 %.

Расчёты выявили большие потери при ожидании ремонта: от 5 до 19,6 %. В состоянии «неисправное» ожидание составляет в среднем 58 %. Только за счёт уменьшения простоя в ожидании обслуживания можно сократить потери на ТОиР вдвое, причём

это требует наведения логистической дисциплины, а не капитальных затрат. В табл. 3 приведены потери на различных видах ТОиР: сам ТОиР составляет примерно 5,2 % потерь $\Delta K_{\text{ЛП}}$, но вместе с ожиданием ТОиР потери составляют 14,4 %. При этом основную долю (85,2 %) в ТОиР составляют обслуживания в объёме ТО-2 (27,5 %), ТР-1 (35,9 %) и НР (21,8 %). Анализ авторов позволил сделать вывод о возможности двукратного сокращения времени простоя локомотивов на ТОиР, то есть совершенствование системы технического обслуживания и ремонта является одним из факторов, отвечающим *целям* исследования.

На рис. 1 приведено распределение времени жизненного цикла локомотивов на этапе их эксплуатации, что подтверждает вывод о том, что ТОиР является важным резервом повышения эффективности эксплуатации.

Очевидно, что на время и стоимость ТОиР влияют имеющие место нарушения режимов эксплуатации (НРЭ), анализу которых посвящены работы авторов [8]. Авторами, на основании анализа ремонтов, выполняемых после НРЭ, разработан комплекс алгоритмических защит, предотвращающих ошибочные действия локомотивных бригад во время эксплуатации [9], реализация которых в программно-аппаратном обеспечении локомотивов позволит существенно повысить их надёжность.

ВЫВОДЫ

1. Традиционно используемый в России показатель, характеризующий эффективность эксплуатации локомотивов, — это среднесуточный пробег. Расчёт показал высокую корреляцию этого показателя с коэффициентом эффективности $K_{\text{Ап}}$ ($r = 0,993$), что позволяет рассматривать на выбор один из этих двух параметров. При этом параметр коэффициента эффективности является более удобным, так как позволяет сравнивать эффективность тяги по различным сериям локомотивов в различных регионах и полигонах.

2. Использование предложенного коэффициента полезной работы позволяет определить реальные резервы для повышения эффективности эксплуатации локомотивов, главным из которых является собственно организация перевозочного процесса. На втором месте — сокращение времени простоя в ожидании ТОиР. На третьем месте — собственно ТОиР, главную долю в которых составляют ТР-1 и НР.

3. Низкая вероятность соответствия статистических данных нормальному закону распределения случайной величины свидетельствует о мультимодальности данных, как следствие — об их низкой достоверности. Необходима кластеризация данных для получения унимодальности, при получении которой дальнейшая

детализация не требуется. Для эффективного использования в исследованиях эксплуатационной информации необходима её кластеризация по видам тяги, сериям, регионам эксплуатации, видам движения, межремонтным пробегам и другим влияющим факторам.

4. Сокращение времени простоя на ТОиР возможно не только за счёт повышения качества процессов ремонта, но и за счёт повышения качества самой эксплуатации локомотивов. Имеют место массовые случаи нарушения режимов эксплуатации (НРЭ), существенно снижающие надёжность локомотивов: более трети всех отказов происходит из-за НРЭ. Реализация алгоритмических защит существенно повысит надёжность локомотивов и эффективность их эксплуатации.

5. Хотя на данном этапе исследования задача апробации разработанной методики при анализе эффективности использования локомотивов на иных железнодорожных сетях, кроме ОАО «РЖД», в других странах, не ставилась, она представляется достаточно универсальной для применения на различных железных дорогах при условии её адаптации к параметрам исходных данных, их величинам и целевым значениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированная система оперативного управления перевозками. Дорожный уровень. База данных АСОУП-2. — М.: АО «НИИАС», 2005. — 24 с.
2. Уокенбах Дж. Excel 2010: профессиональное программирование на VBA: Пер. с англ. — М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2014. — 944 с.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — М.: Высш. шк., 1999. — 576 с.
4. Тайити О. Производственная система Тойоты: уходя от массового производства. — М.: Издательство ИКСИ, 2012. — 96 с.
5. Лайкер Дж. Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира. — М.: Альпина Паблишер, 2011. — 400 с.
6. Сигео С. Изучение производственной системы Тойоты с точки зрения организации производства. — М.: ИКСИ, 2010. — 312 с.
7. Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года. — М., 2018. — 93 с.
8. Хромов И. Ю. Повышение надёжности тепловозов за счёт автоматизации соблюдения режимов эксплуатации // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. — 2019. — № 3 (20). — С. 30–33.
9. Лакин И. К., Хромов И. Ю. Обоснование необходимости алгоритмических защит локомотивов от опасных режимов их эксплуатации // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2019. — Т. 64. — № 4. — С. 102–107. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).102–107.

