



Обоснование необходимости систем диагностирования локомотивов



Александр СЕМЕНОВ



Игорь ЛАКИН

*Семенов Александр Павлович — Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт технологии, контроля и диагностики железнодорожного транспорта» (ОАО «НИИТКД»), Омск, Россия.
Лакин Игорь Капитонович — Российский университет транспорта, Москва, Россия*.*

В мировой и отечественной практике технического обслуживания и ремонта (ТОиР) локомотивов с целью снижения затрат их жизненного цикла прослеживается тенденция расширенного применения систем технического диагностирования, перехода на предиктивный ремонт. Современные аппаратно-программные средства позволяют создавать автоматизированные системы технического диагностирования (СТД) для всех видов оборудования локомотивов, но оснащение ими сервисных ремонтных локомотивных депо требует существенных капитальных затрат с недопустимо большим сроком окупаемости. Целью данной работы является разработка метода и соответствующей программы имитационного моделирования для определения технико-экономической целесообразности применения тех или иных средств технического диагностирования.

Системы диагностирования сокращают время ожидания ремонта, объем и себестоимость планового и непланового ТОиР, что позволяет сократить эксплуатируемый парк локомотивов.

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, локомотивы, техническое обслуживание и ремонт, техническая диагностика, экономическая целесообразность, имитационное моделирование.

В современных экономических расчетах для оценки успешности инвестиционного проекта используется показатель «чистая приведенная к текущему дню стоимость проекта NPV (Net Present Value)». По этому принципу применительно к СТД разработан метод определения целесообразности внедрения различных типов СТД и соответствующие методика и программное обеспечение на алгоритмическом языке VBA (Visual BASIC for Applications) в среде MS Excel.

В работе выполнено имитационное моделирование окупаемости основных видов систем диагностирования для российских условий: бортовых на базе микропроцессорных систем управления, станций реостатных испытаний тепловозов, диагностирования тяговых электродвигателей и др. Доказана экономическая целесообразность внедрения этих систем. Также выявлены экономически нецелесообразные системы диагностирования, например, автоматического измерения профиля бандажа колесных пар.

*Информация об авторах:

Семенов Александр Павлович – кандидат технических наук, генеральный директор Открытого акционерного общества «Научно-исследовательский институт технологии, контроля и диагностики железнодорожного транспорта» (ОАО «НИИТКД»), докторант Российского университета транспорта, Омск, Россия, semalex_ar@mail.ru.

Лакин Игорь Капитонович – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, Lakini@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 01.12.2020, актуализирована 21.12.2020, принята к публикации 15.01.2021.

For the English text of the article please see p. 147.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ АНАЛИЗА

Надёжная работа тягового подвижного состава — основная задача его системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) [1; 2], при организации которой во всём мире есть тренд увеличения роли систем технического диагностирования (СТД)^{1, 2} [3–10]. Современные СТД строятся как автоматизированные (АСТД) на базе аппаратно-программных средств с использованием персональных компьютеров или микропроцессорных блоков управления [3–5; 16–17]. Однако стоимость АСТД достаточно высокая.

Выполненные в НИИТКД³ применительно к России исследования в части условий одного из ста сервисных локомотивных депо (СЛД) «Тында-Северная» [11; 12] Северного широтного хода Восточного полигона (БАМ) показали, что комплексное оснащение АСТД одного депо потребует не менее $Q_{\text{КСЛД}} > 450$ млн руб.: капитальные затраты на все СЛД превысят $Q_{\text{к}} = 100 \cdot 450 > 450$ млрд руб. При этом экспертная оценка позволяет оценить возможную экономию на уровне максимум 20 млрд руб., а фактически — не более 10 млрд руб.: срок окупаемости комплексной системы технического диагностирования составит недопустимые $450/20 > 20$ лет даже без учёта дисконтирования. Таким образом, целесообразность применения АСТД требует экономического обоснования для каждого вида оборудования с индивидуальной оценкой экономической целесообразности её внедрения.

2. ПРЕДЛАГАЕМЫЕ МЕТОД И МЕТОДИКА РАСЧЁТА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТД

Основным источником информации о техническом состоянии локомотива в настоящее время является бортовой рукописный журнал формы ТУ-152 [1; 3], в котором машинист фиксирует субъективные заме-

чания по работе локомотива. Например, «броски тока в тяге», «нет мощности на 15-й позиции», «нет входа в рекуперацию» и др. Второй не менее важный источник информации — это результаты визуальной приёмки локомотива на ТОиР, при которой фиксируются как комплектность локомотива и наличие проявлений вандализма, так и внешние признаки отказов: течь масла, наличие трещин и другое [6]. Наличие бортовых АСТД позволит определять предотказные состояния (работоспособные, но неисправные) до захода локомотива в депо. В результате возможно сокращение как числа опасных отказов, так и времени простоя локомотива в депо на плановых ремонтах и в ожидании поставки запасных частей.

Сокращение времени ТОиР высвобождает парк локомотивов: по мере сокращения времени простоя T на ремонте x накапливается резерв времени ΔT_x , который стремится стать равным времени эксплуатации одного локомотива $T_{\text{л}}$:

$$T_{\text{л}} = \sum_{x=1}^X (\Delta T_x), \quad (1)$$

где X — число ремонтов с экономией времени.

Экономия времени простоя на ремонте позволит сократить число закупаемых локомотивов в объёме $N_{\text{л}}$:

$$N_{\text{л}} = \sum_{y=1}^Y (\Delta T_y) / T_{\text{л}}, \quad (2)$$

где Y — общее число ремонтов с экономией времени благодаря СТД.

Первый вид экономии от внедрения СТД составит R_1 :

$$R_1 = C_{\text{л}} \cdot T_{\text{л}}, \quad (3)$$

где $C_{\text{л}}$ — стоимость одного локомотива.

Второй эффект R_2 будет от сокращения стоимости ремонта ввиду использования элементов ремонта по фактическому техническому состоянию [4–6]. Часто используется термин «предиктивный» или «предсказательный» ТОиР (Predictive maintenance). На рис. 16 показана динамика получения эффекта R_2 . На каждом ремонте i за счёт невыполнения части планово-предупредительных работ будет достигаться эффект ΔR_{2i} . При этом следует учесть, что на ремонте X может понадобиться усиленный ремонт, который приведёт к удорожанию ТОиР на сумму ΔR_{2X} . Эффект от предиктивного ремонта:

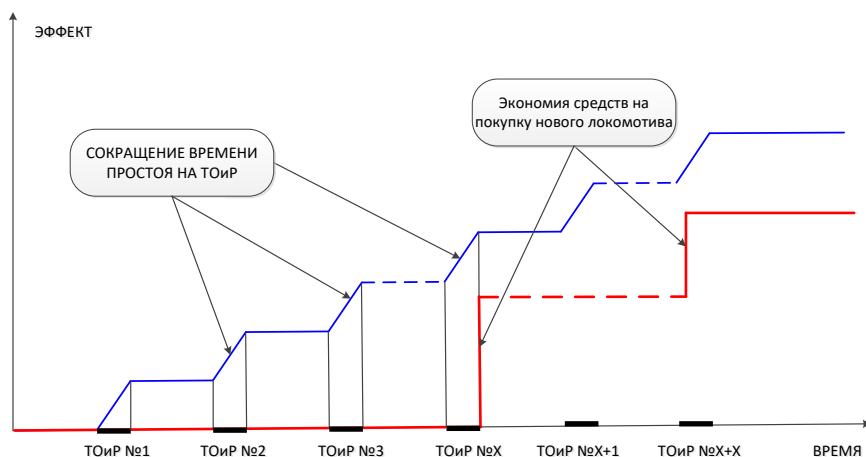
$$R_2 = \sum_{i=1}^{X-1} (\Delta R_{2i}) - \Delta R_{2X}. \quad (4)$$

¹ ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200009481>. Доступ 21.12.2020.

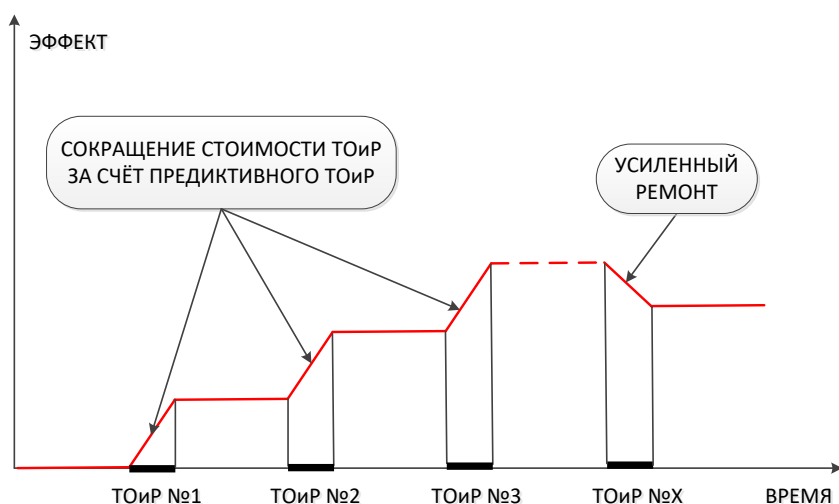
² ГОСТ 27.002–2015. Надёжность в технике (ССНТ). Термины и определения. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/1200136419>. Доступ 21.12.2020.

³ Официальный сайт НИИТКД. [Электронный ресурс]: <http://niitkd.com>. Доступ 21.12.2020.

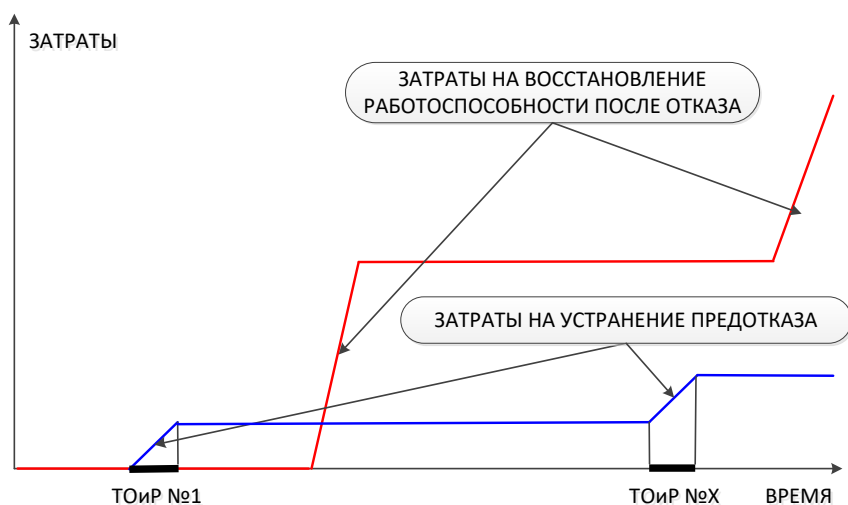




а – R_1 от сокращения парка локомотивов.



б – R_2 от предиктивного обслуживания.



в – R_3 от снижения последствий отказов.

Рис. 1. Эффект R от применения СТД (составлено авторами).

Таблица 1

Межремонтные пробеги локомотивов для расчёта NPV [1]

Серия	НР	ТО-1	ТО-2	ТО-3	ТО-4	ТР-1	ТР-2	ТР-3	СР	КР
ЭС5К	200	0,400	2,4	-	300	30	300	600	1200	2400
ЭС4К	180	0,200	1,67	-	300	30	300	600	1200	2400
ТЭ10МК	120	0,175	3,5	7,2	300	29	115	210	720	1420
2ТЭ25КМ	150	0,175	3,5	15	300	75	300	600	1200	2400

Эффект достигается при условии, что:

$$\sum_{i=1}^{X-1} (\Delta R_{2i}) < \Delta R_{2X}. \quad (5)$$

Третий вид эффекта R_3 от СТД — это предотвращение дорожных отказов за счёт устранения предотказа. Например, восстановление предотказного состояния крышки цилиндра дизеля может предотвратить появление трещин с дальнейшей отбраковкой крышки. При этом число устранений предотказов может быть больше числа отказов, но общая стоимость unplanned ремонтов сократится:

$$R_3 = R_{\text{отк}} - \sum_{n=1}^N (R_{\text{пред } n}), \quad (6)$$

где n — очередное устранение предотказного состояния;

N — общее число устранений предотказных состояний;

$R_{\text{пред } n}$ — стоимость устранения n -го предотказа;

$R_{\text{отк}}$ — стоимость устранения отказа и восстановления работоспособности.

Затраты СТД складываются из капитальных затрат на приобретение, установку и запуск СТД в эксплуатацию Q_k и текущих затрат на эксплуатацию СТД Q_y , состоящих из фонда заработной платы диагностов, стоимости энергоресурсов, метрологического и других видов обслуживания.

В программе моделирования эффективности СТД взят показатель «Чистая приведённая к текущему дню, стоимость проекта NPV» (Net Present Value) [13], согласно которому инвестиционный проект целесообразен при положительном значении $NPV > 0$ за время t меньше заданного. Программа реализована авторами на алгоритмическом языке Visual Basic for Applications (VBA) в среде MS Excel [14].

При расчёте NPV обычно время t берётся как целое число по годам. В разработанной программе предлагается процесс дисконтирования представить как непрерывный процесс интегрирования:

$$NPV = -Q_k + \int CF(t)(1+R)^{-t} dt, \quad (7)$$

где Q_k — капитальные затраты на приобретение и внедрение СТД.

$CF(t)$ — денежный поток в момент времени t ;

R — аннуитетный коэффициент дисконтирования.

В программе формула 7 реализована как двойное суммирование:

$$NPV = -Q_k + \sum \sum (ZE_{ym} - ZT_{ym}) \cdot I, I^{-(y+m/12)}, \quad (8)$$

где y — цикл по годам с нулевого года по десятый: $y \in [0, 10]$;

m — цикл по 12 месяцам каждого года: $m \in [1, 12]$;

ZE_{ym} и ZT_{ym} — полученный эффект и затраты в y -м году и m -м месяце.

Эффекты и затраты связаны с проводимыми плановыми и unplanned ТОиР, время наступления которых зависит от пробега локомотива, который в программе определяется по заданному среднесуточному пробегу с учётом времени простоя на ремонте.

Эксплуатационные затраты Q_y на обслуживание локомотива задаются как: зарплата диагностов, аренда помещений и другие постоянные расходы, удельные затраты на диагностирование (расход электроэнергии, материалов, топлива, масла и другие статьи расходов).

При моделировании задаются нормативные межремонтные пробеги (табл. 1), так как они строго регламентированы: перепробег локомотивов недопустим по условиям безопасности движения поездов, а недопробег приводит к дополнительным затратам на ТОиР. Периодичность ТО-1 и ТО-2 в км пересчитана из часов по среднесуточному пробегу локомотива (табл. 1).

Время на ТОиР локомотивов всех видов нормировано, но фактический простой гораздо больше. Например, 2ТЭ10МК на ТР-1 при норме 36 ч. стоит в среднем 150 ч., на ТР-2 при норме четверо суток стоит 13. Поэтому при моделировании взяты реальные простои по сериям локомотивов, вычисленные авторами путём обработки



Расчётное время простоя на ТОиР по сериям, минуты (составлено авторами)

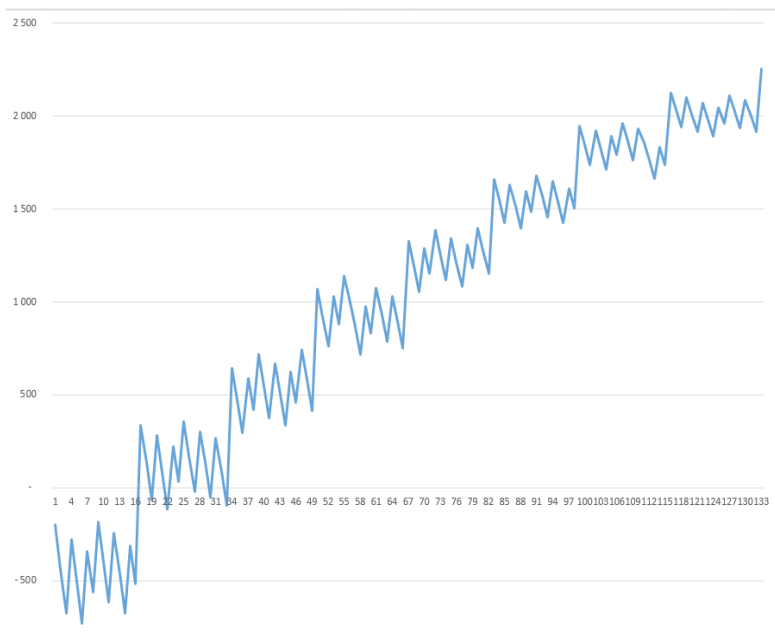
	НР	ТО-2	ТР-1	ТР-1+ТО-4	ТР-2	ТР-3	КР	ТО-4	ТО-3
ВЛ80Р	741	85	2106	2552	5590	14542	12247	1026	
СКО	2757	24	1620	1708	1458	4971	6817	1068	
Квар	3,72	0,28	0,77	0,67	0,26	0,34	0,56	1,04	
N	560	4695	23	168	13	6	8	22	
ВЛ80С	740	78	2183	2239	4907	11592	42181	864	
СКО	2765	24	2142	1581	1827	4384	11854	928	
Квар	3,74	0,31	0,98	0,71	0,37	0,38	0,28	1,07	
N	583	4382	57	182	11	7	6	58	
2ЭС5К	964	100	1500	3390	4139	7130	0	962	
СКО	3093	28	1056	2530	2232	4441		979	
Квар	3,21	0,28	0,70	0,75	0,54	0,62		1,02	
N	304	3710	89	38	9	11	0	46	
3ЭС5К	945	90	1850	2217	4564	10877	0	1713	
СКО	3053	24	933	2189	3197	3360		3744	
Квар	3,23	0,27	0,50	0,99	0,70	0,31		2,19	
N	263	3718	110	70	18	10	0	46	
2ЭС4К	1567	93	5880	14282	14826	18776	0	6227	
СКО	16523	31	6654	2127	5581	9196		4916	
Квар	10,54	0,34	1,13	0,15	0,38	0,49		0,79	
N	404	3323	59	2	5	9	0	10	
3ЭС4К	789	109	4856	0	7124	25939	0	6395	
СКО	3681	58	9260		2825	10821		9387	
Квар	4,66	0,54	1,91		0,40	0,42		1,47	
N	675	1704	134	0	16	9	0	36	
2ТЭ10МК	2146	81	8971	10526	19230	29295	31435	2730	3064
СКО	17617	55	5290	10178	11795	15717		6356	3961
Квар	8,21	0,68	0,59	0,97	0,61	0,54		2,33	1,29
N	608	4068	46	13	11	7	1	45	88
3ТЭ10МК	1278	93	8526	7466	24317	13796	13386	3568	6033
СКО	5212	23	6303	5186	7030	4549	13479	3871	7303
Квар	4,08	0,25	0,74	0,69	0,29	0,33	1,01	1,08	1,21
N	1100	4648	61	15	13	4	5	21	78
2ТЭ116У	1172	73	4581	3329	12452	15284	0	997	2615
СКО	4027	19	8871	2267	4964	2638		1227	3344
Квар	3,44	0,27	1,94	0,68	0,40	0,17		1,23	1,28
N	459	2664	36	13	10	9	0	35	161
2ТЭ25КМ	2295	77	2890	2871	11274	106	0	2416	1813
СКО	15550	18	2673	957	2571			3135	2051
Квар	6,78	0,23	0,93	0,33	0,23			1,30	1,13
N	437	3126	60	7	12	1	0	48	244

данных информационной системы ОАО «РЖД» АСОУП (автоматизированная система оперативного управления поездами). В табл. 2 приведены результаты расчёта: для каждой серии локомотивов, по каждому виду ремонта по данным АСОУП рассчитаны математическое ожидание простоя M , среднее квадратичное отклонение σ и коэффициент вариации $Kвар = \sigma / M$ [15].

Наиболее предсказуемым (унимодальным) оказалось время простоя на ТО-2 ($M = 86$ минут, $\sigma = 11$, $Kвар = 0,13$), что во многом объясняется принятым в ОАО «РЖД» порядком смены состояния ТО-2 на неплановый ремонт (НР) при превышении времени простоя. Большой разброс имеет место по неплановым ремонтам ($M = 1199$ минут, $\sigma = 572$, $Kвар = 0,48$) и обточке

	B	C	D	E	F	G	H
1	МПСУ						2 254
2	1	2	3	4	5	6	7
3	Год	Месяц	R	Пробег, тыс.км	Затраты, тыс.руб.	Эффекты, тыс.руб.	NPV
4	0	0	1,000	-	- 200,000	-	- 200
5	0	1	0,992	12,167	- 290,000	53,104	- 435
6	0	2	0,984	23,967	- 285,500	44,253	- 672
7	0	3	0,976	35,798	- 294,500	697,609	- 279
8	0	4	0,969	45,968	- 273,500	44,253	- 501
9	0	5	0,961	57,826	- 290,000	53,104	- 729
10	0	6	0,953	69,626	- 294,500	697,609	- 344
11	0	7	0,946	79,796	- 272,000	44,253	- 560
12	0	8	0,938	91,657	- 296,000	697,609	- 183
13	0	9	0,931	101,823	- 273,500	44,253	- 396
14	0	10	0,924	113,681	- 288,500	53,104	- 614
15	0	11	0,916	125,484	- 294,500	697,609	- 244
16	0	12	0,909	135,654	- 283,500	44,253	- 462
17	1	1	0,902	147,512	- 288,500	53,104	- 674
18	1	2	0,895	159,316	- 294,500	697,609	- 313
19	1	3	0,888	169,486	- 273,500	44,253	- 517
20	1	4	0,881	181,343	- 303,500	1 272,371	336
21	1	5	0,874	191,078	- 270,500	44,253	139
22	1	6	0,867	202,943	- 288,500	53,104	- 65
23	1	7	0,860	214,746	- 294,500	697,609	281
24	1	8	0,853	224,916	- 273,500	44,253	86
25	1	9	0,846	236,774	- 288,500	53,104	- 113
26	1	10	0,840	248,577	- 294,500	697,609	225

Рис. 2. Результат моделирования NPV одной СТД (составлено авторами).



колёсных пар ($M = 2475$ минут, $\sigma = 2024$, $\text{Квар} = 0,82$). Таким образом, время простоя на всех видах ТОиР (кроме ТО-2 на пунктах технического обслуживания локомотивов – ПТОЛ) имеет большой разброс, что требует индивидуального подхода при введении исходных данных при моделировании.

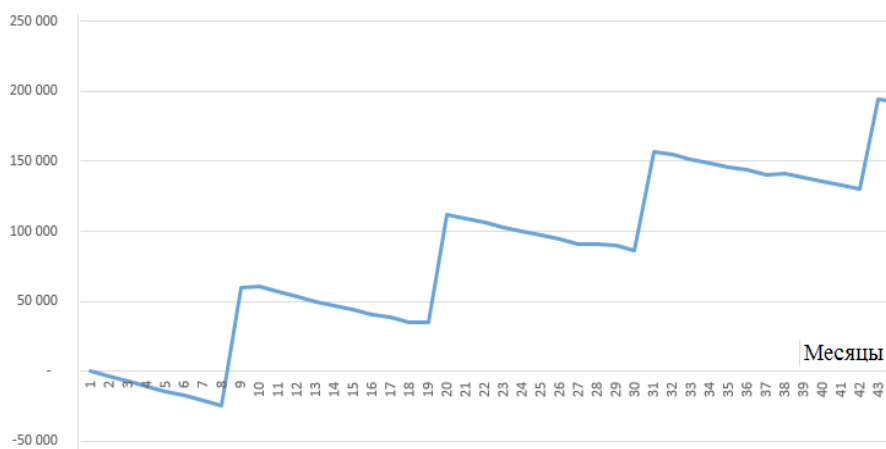
Результаты моделирования представляются в виде таблицы и графика изменения NPV по месяцам (рис. 2).

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТД

Бортовое диагностирование производится на базе штатных микропроцессорных систем управления (МСУ), поэтому диагностическая функциональность является «бесплатной». Капитальные затраты Q_k включают в себя создание автоматизированного рабочего места (АРМ) диагноста, его приобретение и обслуживание. Текущие затраты связаны в основном с заработной платой диагностов.

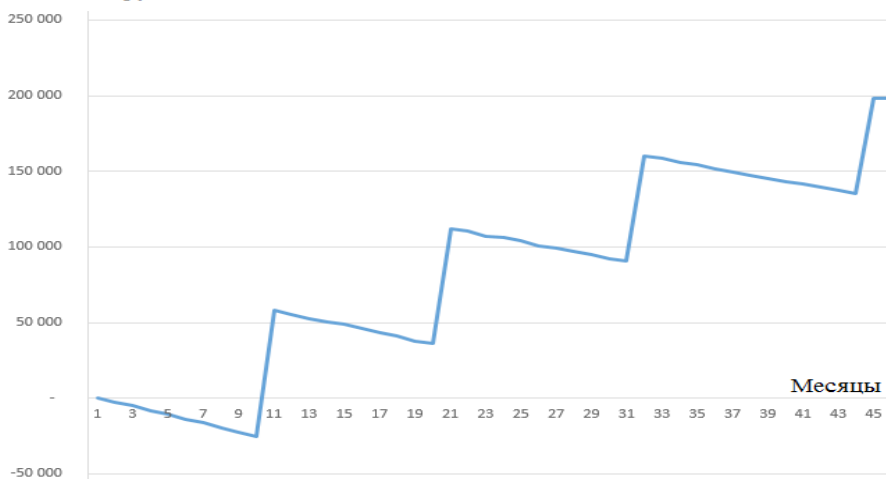


NPV, тыс.руб.



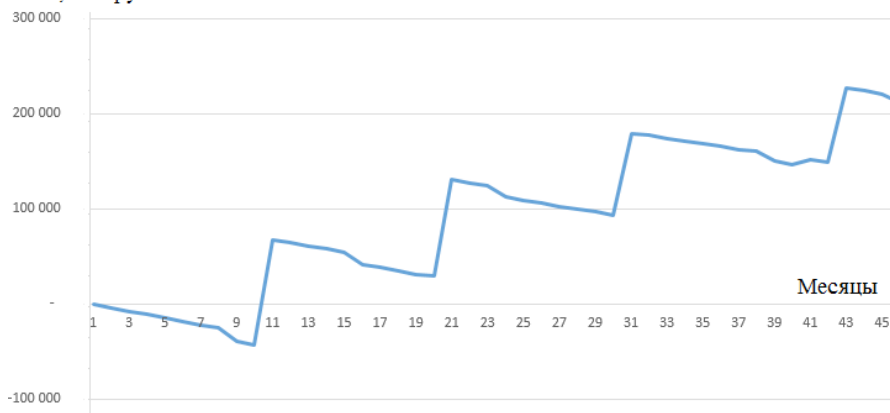
а – МСУД электровозов переменного тока серий ЭС5К с ВИП.

NPV, тыс.руб.



б – МПСУ электровозов постоянного тока серий ЭС4К.

NPV, тыс.руб.



в – МСУ-ТП тепловозов серии 2ТЭ25КМ.

Рис. 3. Результаты расчёта NPV для бортовой диагностики на базе МСУ (составлено авторами).

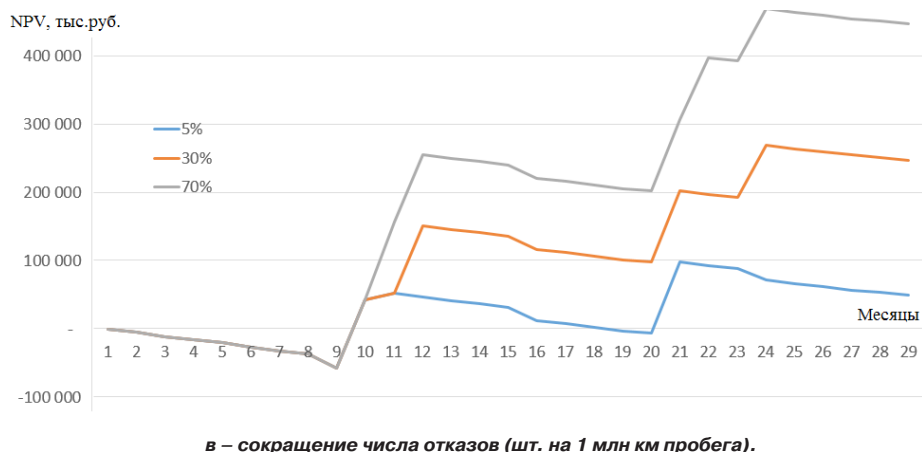
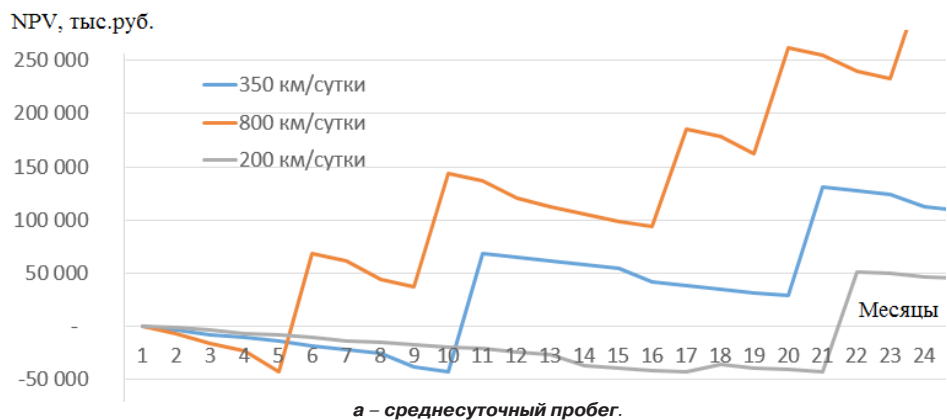


Рис. 4. Влияние исходных данных на результат NPV на примере МСУ-ТП (составлено авторами).

Эффект от бортовой диагностики есть при приёмке локомотива (ТО-1), на ПТОЛ (ТО-2). При выполнении ТО-3 и ТР-1 проводится глубокая диагностика. Для этого данные МСУ о работе локомотива вводятся в стационарный компьютер (по радио-

каналу, с Flash-накопителя, по Wi-Fi и др.) для диагностирования с помощью специализированного программного обеспечения (АРМ МСУ): выявляются скрытые дефекты и предотказы. На «тяжёлых» видах ТОиР диагностирование МСУ не требуется.



NPV, тыс.руб.

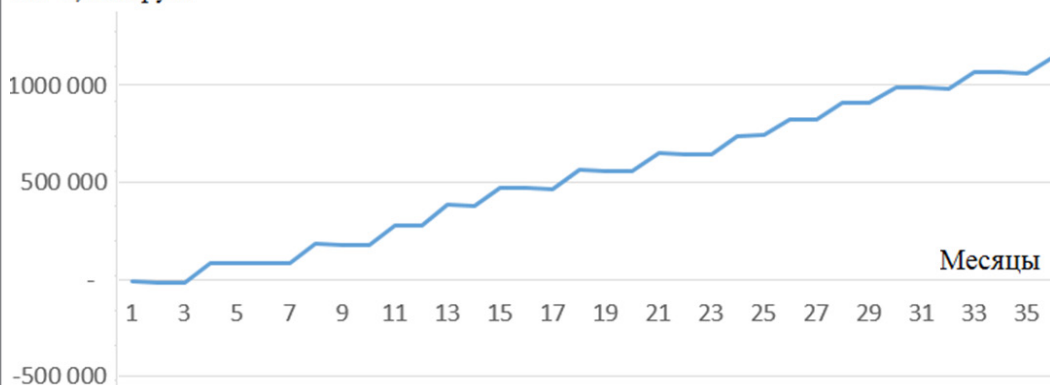


Рис. 5. Результаты расчёта NPV для станции реостатных испытаний (составлено авторами).

Таблица 3

Процент сокращения парка локомотивов при применении АСТД (составлено авторами)

АСТД	Серия локомотива	Сокращение парка, %
Бортовая АСТД на базе МСУД (МСУД)	ЭС5К	2,8 %
Бортовая АСТД на базе МПСУ (МПСУ)	ЭС5К	2,8 %
Бортовая АСТД на базе МСУ-ТП (МСУ-ТП)	2ТЭ25КМ	3,3 %
Бортовая АСТД на базе АПК БОРТ	2ТЭ25КМ,	1,0 %
Станция реостатных испытаний (Реостат)	2ТЭ116У, ТЭ10МК	12,5 %
Вибродиагностирование КМБ (Вибро)	ЭС5К	3,0 %
Стенд испытаний ТЭД (ТЭД)	ЭС5К	0,5 %
Система замера профиля бандажа колёсных пар (КП)	ЭС5К	0,0 %
АСТД «Доктор»	ЭС5К	0,7 %

Эффект от МСУ достигается за счёт сокращения времени ТОиР, а главное — за счёт предотвращения неплановых ремонтов за счёт устранения их на стадии предотказа. Основной денежный поток составляет экономия потребного для осуществления перевозок локомотивного парка. Основная эксплуатационная статья расходов — заработная плата диагностов.

На рис. 3 приведён результат моделирования для трёх массовых типов МСУ: МСУД электровазозов переменного тока с выпрямительно-инверторными преобразователями Э5К, 2ЭС5К, 3ЭС5К, 4ЭС5К, ЭП1, ЭП1М, ЭП1П, МПСУ электровазозов постоянного тока (2ЭС4К, 3ЭС4К) и МСУ-ТП тепловозов 2ТЭ116У, 2ТЭ25КМ, 3ТЭ25КМ. Дисконтированный срок окупаемости системы диагностирования на базе МСУ — менее года. Резкие скачки вверх на рис. 3 и далее соответствуют сокращению парка локомотивов на одну единицу.

Моделирование показало высокую чувствительность модели к одним исходным

параметрам и низкую — к другим (рис. 4). Большое влияние оказывает среднесуточный пробег (рис. 4а), уменьшение которого может сделать АСТД нерентабельной из-за редкого проведения ТОиР при сохранении текущих затрат. Аналогично влияет число обслуживаемых локомотивов (рис. 4б). Главный эффект достигается за счёт сокращения числа неплановых ремонтов (рис. 4в). В меньшей степени влияют стоимость восстановления исправности локомотива и заработная плата диагностов.

Главным эффектом практически от всех СТД стало сокращение парка локомотивов. И, наоборот, не дающие этого эффекта СТД оказались нерентабельными.

На рис. 5 приведены результаты моделирования NPV станций реостатных испытаний дизель-генераторной установки тепловозов. Экономический эффект определяется как потери, которые понесёт локомотивное хозяйство в случае отсутствия реостатных испытаний: существенно возрастёт число неплановых ремонтов, увели-

Таблица 4

Процент от общего эффекта от сокращения времени простоя на ТООР при применении АСТД (составлено авторами)

АСТД	ТО-1	ТО-2	ТО-3	ТО-4	ТР-1	ТР-2	ТР-3	СР	КР	НР
МСУД	16,6 %	23,1 %			44,8 %					15,5 %
МПСУ	20,3 %	16,9 %			49,4 %					13,4 %
МСУ-ТП	19,6 %	5,7 %	34,4 %		1,3 %					39,0 %
АПК Борт			67,9 %		2,5 %					29,6 %
Реостат			48,4 %		21,6 %	11,6 %	7,8 %	2,1 %		8,6 %
Вибро					65,9 %					34,1 %
ТЭД							26,3 %	22,5 %	11,3 %	39,9 %
КП				3,6 %	96,4 %					

Таблица 5

NPV АСТД на одно депо с парком 200–300 локомотивов (составлено авторами)

АСТД	Срок окупаемости, мес.	Срок окупаемости, лет	NPV за 3 года, млн руб.	NPV за 6 лет, млн руб.
МСУД	8	0,67	141	251
МПСУ	10	0,83	150	266
МСУ-ТП	10	0,83	162	357
Реостат	3	0,25	1 144	2020
Вибро	11	0,91	251	385
ТЭД	14	1,17	6	75
КП	—	—	-10	-13
Доктор	32	2,67	43	80

числится число возвратов локомотива в депо приёмщиком ОАО «РЖД». Несмотря на высокую стоимость станции, её окупаемость происходит за несколько месяцев, так как отсутствие реостатных испытаний приведёт к существенному росту дорогих отказов дизель-генераторной установки.

Эффект от вибродиагностирования заключается в исключении неплановых ремонтов по отказам колёсно-моторных блоков (КМБ), сокращении объёма текущих ремонтов при отсутствии замечаний по техническому состоянию КМБ. Станции испытания тяговых электродвигателей (ТЭД) методом взаимной нагрузки используются после «тяжёлых» видов ремонта: ТР-3, СР и КР. Испытание двигателей позволяет проверить их исправность и исключить соответствующие отказы во время эксплуатации. Кроме того, снятие характеристик ТЭД позволяет произвести их подбор и исключить дополнительные отказы по причине разброса характеристик

ТЭД. Отрицательный NPV получен для системы автоматического замера профиля колёсных пар. Результаты выполненных расчётов NPV приведены в табл. 3–5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Практическое применение АСТД требует технико-экономического обоснования (ТЭО), так как в целом их окупаемость составляет десятки лет.

2. При выборе типа АСТД предпочтение следует отдавать бортовым и встроенным АСТД. В случае их нецелесообразности — переносным и стационарным.

3. Разработаны метод оценки технико-экономической целесообразности внедрения различных видов АСТД и соответствующее программное обеспечение на алгоритмическом языке VBA в среде MS Excel. За основу взят метод расчёта показателя «Чистая приведённая к текущему дню стоимость проекта NPV (Net Present Value)».





4. Произведено моделирование окупаемости основных видов АСТД с факторным анализом влияния различных параметров (размер парка, среднесуточный пробег, интенсивность отказов, сокращение числа отказов).

5. Моделирование показало экономическую целесообразность следующих АСТД: бортовая на базе штатных микропроцессорных систем управления, специализированные бортовые АСТД диагностирования дизель-генераторных установок для тепловозов без МСУ, станции реостатных испытаний дизель-генераторных установок тепловозов, вибродиагностирование колёсно-моторных блоков (КМБ), диагностирование и испытание тиристорных ВИП, переносные системы диагностирования электрического оборудования.

6. Моделирование показало отсутствие экономического эффекта от внедрения ряда АСТД, в т.ч. автоматической проверки профиля бандажа.

7. Главным эффектом от внедрения АСТД является сокращение эксплуатируемого парка локомотивов.

8. Существенное влияние на эффективность АСТД оказывает сокращение времени ремонта. Относительно низкое влияние оказывает стоимость восстановления работоспособности и начальная стоимость АСТД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселёв В. И., Гапанович В. А., Лакин И. К. и др. Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава: Учеб. Пособие. — М.: ИРИС Групп, 2012. — 576 с.

2. Wyman, O. Train Maintenance. The RailWay Technical Website. [Электронный ресурс]: <http://www.railway-technical.com/trains/train-maintenance/>. Доступ 21.12.2020.

3. Лакин И. К. Мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации локомотивов. Теория и практика / Под общ. ред. И. К. Лакина. — М.: ООО «Локомотивные Технологии», 2015. — 212 с.

4. Аболмасов А. А. Управление техническим состоянием тягового подвижного состава в условиях сервисного обслуживания / Дис... канд. техн. наук. — М.: МИИТ, 2017. — 180 с. [Электронный ресурс]: <https://docplayer.ru/49152812-Abolmasov-aleksey-aleksandrovich-upravlenie-tehnicheskim-sostoyaniem-tyagovogo-podvizhnogo-sostava-v-usloviyah-servisnogo-obsluzhivaniya.html>. Доступ 21.12.2020.

5. Лакин И. И. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным бортовых аппаратно-программных комплексов / Дис... канд. техн. наук. — М.: МИИТ, 2016. — 211 с. [Электронный ресурс]: [https://docplayer.ru/46381822-Lakin-igor-igorevich-monitoring-tehnicheskogo-sostoyaniya-lokomotivov-po-](https://docplayer.ru/46381822-Lakin-igor-igorevich-monitoring-tehnicheskogo-sostoyaniya-lokomotivov-po-dannym-bortovyh-apparatno-programmnyh-kompleksov.html)

dannym-bortovyh-apparatno-programmnyh-kompleksov.html. Доступ 21.12.2020.

6. Пустовой И. В. Разработка информационно-динамической модели управления сервисным техническим обслуживанием / Дис... канд. техн. наук. — Омск: ОмГУПС, 2019. — 181 с. [Электронный ресурс]: <http://www.dslib.net/organizacia-proizvodstva/razrabotka-informacionno-dinamicheskoy-modeli-upravleniya-servisnym-tehnicheskim.html>. Доступ 21.12.2020.

7. Головин В. И., Наговицын В. С. АСУ с функцией безопасности для электровоза 2ЭС6. — 2018. — № 4. [Электронный ресурс]: <http://scbist.com/>. Доступ 21.12.2020.

8. Семченко В. В., Лакин И. К., Чмилёв И. Е. Эксплуатация и техническое обслуживание электронных систем управления электровозов переменного тока. — Красноярск: Издательство дорожного центра внедрения Красноярской железной дороги, 2010. — 72 с.

9. Патент на изобретение от 24.10.2013 г. № 2569216. Способ управления обслуживанием и ремонтом железнодорожного транспорта и система для его осуществления. К. В. Липа, В. И. Гриненко, С. Л. Лянгасов, И. К. Лакин, А. А. Аболмасов и др. [Электронный ресурс]: <https://patentinform.ru/inventions/reg-2569216.html>. Доступ 21.12.2020.

10. Патент на изобретение от 21.07.2017 г. № 2626168. Способ технического диагностирования оборудования локомотива и устройство для его осуществления. К. В. Липа, В. И. Гриненко, С. Л. Лянгасов, И. К. Лакин, А. А. Аболмасов и др. [Электронный ресурс]: <https://patentinform.ru/inventions/reg-2626168.html>. Доступ 21.12.2020.

11. Комплексная система обеспечения эксплуатационной надёжности технических средств на основе диагностических методов мониторинга технического состояния и планирования технического обслуживания и ремонта подвижного состава. Отчёт о выполнении научно-исследовательской работы по теме: «Разработка требований к системе обеспечения эксплуатационной надёжности подвижного состава и методических основ для определения его технического состояния». — Омск: НИИТКД, 2011—765 с. [Электронный ресурс]: <https://refdb.ru/look/2818339-p2.html>. Доступ 21.12.2020.

12. Пилотный проект технического обслуживания и ремонта тепловозов типа ТЭ10 в депо Тынды Дальневосточной железной дороги. Отчёт НИР. — Омск: НИИТКД, 2012. — 146 с.

13. Формула расчёта NPV инвестиционного проекта. Сайт МСФО. [Электронный ресурс]: <http://msfodipfr.ru/formula-rascheta-npv-investitsionnogo-proekta-eto-prosto/>. Доступ 21.12.2020.

14. Осетрова И. С., Осипов Н. А. Microsoft Visual Basic for Application. — СПб: НИУ ИТМО, 2013. — 120 с.

15. Вентцель Е. С. Теория вероятности: Учебник. — 12-е изд., стер. — М.: Юстиция, 2018. — 658 с.

16. Hedlund, E. H., Roddy, N. E., Gibson, D. R., Bliley, R. G., Pander, J. E., Puri, A., O'Camb, T. E., Lovelace, J. H., Loncher, S., Pierro, M. J. Apparatus and Method for Performance and Fault Analysis. Патент США WO 01/3145. — General Electric Company, 2001. — 58 p. [Электронный ресурс]: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2001031450>. Доступ 21.12.2020.

17. Steuger, M. Velaro — customer oriented further development of a high-speed train. [Электронный ресурс]: https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uid:76bd8e38-7ea4-43ad-b7d4-4d7ca9be50a9/fachartikel_zev-ail_siemens_velaro_en.pdf. Доступ 21.12.2020.