

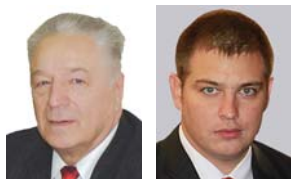
Оценка надежности технологических процессов реконструкции и ремонтов железнодорожного пути

Н. И. КАРПУЩЕНКО, докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Путь и путевое хозяйство»

Сибирского государственного университета путей сообщения, г. Новосибирск

А. С. ПИКАЛОВ, начальник производственно-технического отдела ОПМС-19

Западно-Сибирской дирекции по ремонту пути, филиал ОАО «РЖД», г. Обь Новосибирской обл.



Эффективность эксплуатации путевых машин является важнейшим фактором, определяющим успешность реформирования путевого комплекса и обеспечивающим снижение расходов. Разработаны методики и алгоритмы, которые позволяют проводить оценку надежности путевых машин. Анализ простоев и отказов машин дал возможность сформулировать ряд рекомендаций касательно технологии их ремонта и текущего обслуживания.

Обычно технологические системы (ТС) являются многофазными, т. е. их работа организована так, что продукт последовательно обрабатывается в первом, втором и т. д. технологических устройствах (агрегатах). Вся система считается работоспособной, если выходное устройство выдает продукцию. В многофазных системах при отказе любого агрегата в отсутствие резервных все работоспособные механизмы немедленно останавливаются и простаивают до окончания ремонта неработоспособного агрегата [1].

Надежность таких систем низка. Производительность всех последовательно работающих агрегатов равна производительности наиболее медленно работающего, поэтому обычно стараются применять агрегаты с примерно равной производительностью.

При реконструкции пути медленно работающие щетноочистительные машины выводят из технологической цепочки, их работу организуют в отдельных «окнах».

Оценка надежности восстанавливаемых объектов

Показатели надежности объектов, восстанавливаемых в процессе применения, вычисляются лишь в календарном времени. Такие объекты можно разделить на две группы [2]. Для первой в течение заданного периода работы допускаются отказы и вызванные

ими кратковременные перерывы. Для этих объектов важно свойство готовности — нахождения значительного времени в работоспособном состоянии. Ко второй группе относятся объекты, отказы которых в течение заданного времени недопустимы. Если в этих объектах (системах) имеются избыточные элементы, то при отказах некоторых из них объект остается работоспособным и можно проводить ремонт отказавших элементов во время выполнения задачи. В зависимости от режима его применения один и тот же объект может быть отнесен к разным группам.

Рассмотрим процесс эксплуатации объектов первой группы (см. рисунок) [2]. После отказа объект некоторое время находится в неработоспособном состоянии, т. е. восстанавливается. Ремонт приводит объект в работоспособное состояние. Периоды выключения объекта, когда он не отказывает и не

восстанавливается, исключаются из рассмотрения.

Таким образом, для первой группы объектов в процессе эксплуатации чередуются случайные периоды безотказной работы T^0 и восстановления (ремонта) $T_B^{(i)}$. Обычно полагают, что случайные величины T^0 имеют одинаковые распределения (аналогично $T_B^{(i)}$). Случайное время между очередными восстановлениями равно:

$$T_0' = T^0 + T_B^{(i)}. \quad (1)$$

Если случайные величины T и T_B независимы, то плотность распределения их суммы T_0 по известному из теории вероятностей правилу о композиции распределений составляет

$$f_0(t) = \int_0^t f(x)g(t-x)dx, \quad (2)$$

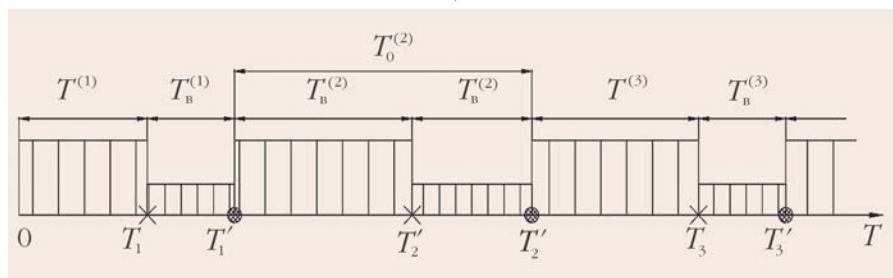
где $f_0(t)$ — плотность распределения времени безотказной работы;

$g(t)$ — плотность распределения времени восстановления объекта.

По аналогии с объектами, восстанавливаемыми вне процесса применения, можно рассматривать поток восстановлений с параметром

$$\omega_0(t) = f_0(t) + \int_0^t \omega_0(\tau)f_0(t-\tau)d\tau, \quad (3)$$

где $f_0(t)$ — плотность распределения времени между очередными восстановлениями.



Эксплуатация объекта, восстанавливаемого в процессе применения: $T^{(1)}, \dots, T^{(n)}$ — время работы между отказами; $T_B^{(1)}, \dots, T_B^{(n)}$ — время восстановления; $T_0^{(i)}$ — времени между $(i-1)$ -м и i -м восстановлениями; T_1, \dots, T_n — моменты появления отказов (крестики); T'_1, \dots, T'_n — моменты окончания восстановления (кружки).

Параметр потока восстановлений $w_0(t)$ и плотность $f_{0n}(t)$ распределения времени до появления n -го восстановления (это время равно сумме $T_0^{(n)}$) связаны соотношением

$$\omega_0(t) = \sum_{n=1}^{\infty} f_{0n}(t). \quad (4)$$

Надежность объектов первой группы можно оценить при помощи мгновенных и числовых показателей. Одним из мгновенных показателей является параметр потока восстановлений $w_0(t)$. Однако обычно применяют вероятность $\Gamma(t_1)$ заставить объект работоспособным (готовым к применению) в момент времени t_1 либо вероятность $\Pi(t_1) = 1 - \Gamma(t_1)$ того, что объект в момент времени t_1 будет неработоспособным (в состоянии вынужденного простоя). Зависимость $\Gamma(t)$ называется функцией готовности.

$\Gamma(t_1)$ и $\Pi(t_1)$ определяются в предположении, что при $t = 0$ объект работоспособен, т. е. $\Gamma(0) = 1, \Pi(0) = 0$.

Методы оценки надежности технологических систем

Для оценки надежности технологических процессов применяют метод дифференциальных уравнений. Этот метод подходит для оценки надежности любых (восстанавливаемых и невосстанавливаемых) объектов и основан на допущении показательных распределений времени (наработки) между отказами и восстановлением. При этом параметр потока отказов $\omega = \gamma = 1/m_t$, а для восстанавливаемых объектов — и интенсивность восстановления $\mu = 1/m_{тв}$, где m_t — среднее время до отказа (между отказами); $m_{тв}$ — среднее время восстановления.

Для применения метода необходимо иметь математическую модель в виде множества состояний объектов, в котором они могут находиться при отказах и восстановлениях элементов.

Чтобы определить показатели надежности, составляют и решают систему дифференциальных уравнений для вероятностей состояний (уравнений Колмогорова). При этом используют опыт решения задач по теории массового обслуживания.

Система дифференциальных уравнений дополняется нормировочным условием:

$$\sum_{j=0}^n P_j(t) = 1, \quad (5)$$

где $P_j(t)$ — вероятность нахождения в j -м состоянии;

$n + 1$ — число возможных состояний.

Все множество возможных состояний системы разбивается на две части:

n_1 , в которых система работоспособна, и n_2 , в которых система неработоспособна.

Функция готовности системы

$$\Gamma(t) = \sum_{j=0}^{n_1} P_j(t), \quad (6)$$

где $P_j(t)$ — вероятность нахождения системы в j -м работоспособном состоянии.

Когда необходимо вычислить коэффициенты готовности или простоя (перемены в работе системы допустимы), рассматривают установившийся режим эксплуатации при $t \rightarrow \infty$. При этом все производные $P_j'(t) = 0$ и система дифференциальных уравнений переходит в систему алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} \lambda_1 P_0 - \mu_1 P_1 &= 0; \\ \lambda_2 P_0 - \mu_2 P_2 &= 0; \\ \dots\dots\dots \\ \lambda_n P_0 - \mu_n P_n &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Решив полученную систему с учетом нормировочного условия, получим:

$$k_{гс} = P_0 = \frac{1}{\left(1 + \sum_{j=1}^n \frac{\lambda_j}{\mu_j}\right)}. \quad (8)$$

Вероятность нахождения в j -м состоянии

$$P_j = \frac{\lambda_j}{\mu_j} P_0. \quad (9)$$

Из соотношения $k_{г} = \mu / (\mu + \lambda)$ следует $\mu_j = \lambda_j k_{гj} / (1 - k_{гj})$. Подставив в (8) выражение для μ_j , получим:

$$k_{гс} = \left[1 + \sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{k_{гj}} - 1\right)\right]^{-1} \quad (10)$$

Пусть $n = 3; k_{г1} = 0,91; k_{г2} = 0,92; k_{г3} = 0,93$. Подставив эти значения в (10), получим:

$$k_{гс} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{0,91} - 1\right) + \left(\frac{1}{0,92} - 1\right) + \left(\frac{1}{0,93} - 1\right)} \approx 0,7929.$$

Значения $k_{гс}$, согласно (8), (10), соответствуют обычным условиям функционирования производственного объекта: имеется единое эксплуатационное обеспечение, при отказе одного из элементов система выключается и во время его восстановления оставшиеся работоспособные элементы не отказывают.

Наиболее объективные сведения о надежности изделий можно получить на основе статистических данных об отказах в процессе эксплуатации. Без такой информации невозможно определить показатели надежности машин, выявить недостатки их конструкции и содержания, установить влияние на надежность условий эксплуатации и, следовательно, принять меры к дальнейшему повышению надежности.

Простои путей машин и оценка их надежности

Согласно отчету ОАО «РЖД», основные высокопроизводительные машины (ЩОМ, МНК, ДМ, УНМ, ДСП, УКСП, ВПР, ВПРС) находились в хозяйстве 193 100 м/д, из них в работе 124 928 м/д (65 % времени), в простое 68 172 м/д (35 %). В 2010 г. все основные путевые машины находились без работы продолжительное время. В среднем на железной дороге одна машина ЩОМ простаивает 95 дней; СЗП, МНК — 64; Дуоматик — 55; Унимат — 50; ДСП — 68; УК-25СП — 90; ВПРС — 81; ВПР — 77 дней.

Условно простои можно подразделить на технические (при ремонте, наладке, техническом обслуживании (ТО)) и организационные (отмена окон, непредоставление окон, отсутствие согласованных участков работ и локомотивов, транспортировка техники, простои в выходные и праздничные дни и т. п.).

Из-за упущений в организации эксплуатации машины не работали 45 277 м/д, что составляет 23 % от общего времени нахождения в хозяйстве, или 66 % от всего количества дней простоя. Простои, связанные с организацией работы путевой техники, различны для разных типов машин. Для ВПР и ВПРС преобладают простои в выходные и праздничные дни: 26 % (5754 дня) и 31 % (403 дня) соответственно от всех простоев, что свидетельствует об отсутствии организации двухсменной работы этих машин. В структуре простоев щебне- и кюветоочистительных машин, Дуоматик, Унимат, ДСП, УК-25СП большое время занимает транспортировка, так как эта техника обслуживает большие участки. Самые продолжительные простои приходятся на транспортировку (от 16 % на ЩОМ до 34 % на УК-25СП); отмену окон (от 12 % на Дуоматик до 23 % на ЩОМ) и прочие причины (от 14 % на Унимате до 33 % ЩОМ).

Анализ простоев показывает, что на железных дорогах должным образом не налажена организация ремонта и текущего содержания пути. Предварительное планирование работы путевых машин позволит существенно сократить временные затраты на их транспортировку, количество отменяемых окон и т. д. Таким образом, коэффициент готовности путевых машин возрастает с 0,65 до 0,85, их более эффективное использование позволит выполнить запланированный ремонт пути меньшим количеством техники. Это не подразумевает прямого адекватного

Таблица 1. Простои путевых машин и коэффициенты готовности выполнения ремонта пути

Тип машины	Общие простои, дней	Общий коэффициент готовности, $K_{го}$	Простои, вызванные срывом запланированных окон, дней	Коэффициент готовности, $K_{го}$
ЩОМ	95	0,74	60,5	0,83
СЗП, МНК	64	0,82	32,6	0,91
Дуоматик	55	0,85	29,7	0,92
Унимат	50	0,86	20,8	0,94
ДСП	68	0,81	36,5	0,90
УК-25СП	90	0,75	41,5	0,89
ВПРС	81	0,76	30,8	0,92
ВПР	77	0,79	30,2	0,92

выведения из эксплуатации путевых машин, но даже постановка на консервацию одной-двух единиц отразится на эксплуатационных расходах дорог и компании в целом.

Используя данные департамента пути и сооружений ОАО «РЖД», приведенные в табл. 1, определим коэффициенты готовности путевых машин $K_{го}$ по формуле (10) на основе данных об общих простоях машин за год и простоях, вызванных срывом запланированных окон из-за отмены $K_{го}$, отсутствия обслуживающих бригад, непланового ремонта машин и прочих причин. Эти простои наносят наибольший вред путевым машинным станциям (ПМС), приводя к большим экономическим потерям.

Опыт эксплуатации путевых машин в путевых машинных станциях

Основным условием обеспечения высокой работоспособности путевых машин является соответствие их технической эксплуатации системе планово-предупредительного ремонта (ППР), регламентированного положением о ППР путевых машин и предполагающего периодическую обусловленную сроком службы проверку их технического состояния, профилактические операции и смазывание узлов и агрегатов. Следовательно, при планировании работ с применением этих машин должна учитываться периодичность их ТО, предусмотренная эксплуатационной документацией. Однако сложность здесь состоит в том, что разные по назначению машины проходят ТО с разной периодичностью, а при ремонте пути они используются комплексно, в одной цепочке.

Надежность техники зависит от ее конструктивных особенностей, качества изготовления и соблюдения правил эксплуатации. Показатель надежности — наработка на отказ — определяется от-

ношением наработки машины за исследуемый промежуток времени к количеству отказов и неисправностей за тот же срок.

ПМС эксплуатируют машины, предоставляемые централизованно. В формулах некоторых из них приведена гарантированная заводом-изготовителем наработка на отказ. Так, для ДСП она составляет не менее 10 км, для РОМ-3М — не менее 18 км. Для остальных машин в качестве показателя надежности дан средний ресурс до капитального ремонта. Кроме того, в руководствах по эксплуатации каждой машины имеются перечни возможных отказов и неисправностей, состоящие из нескольких десятков пунктов.

По результатам работы машин в 2001–2010 гг. можно сделать вывод, что все они в течение сезона подвержены отказам и неисправностям. Нарботка на отказ у таких машин, как ВПР и ПМГ, меньше периодичности выполнения ТО-1, у остальных же этот показатель приблизительно соответствует периодичности выполнения ТО-1 (табл. 2). Если равномерно распределить по ме-

сяцам сезонное задание по наработке щетноочистительных машин, то получится, что их показатели надежности намного меньше месячных планов наработок.

Распределение отказов и неисправностей по узлам и агрегатам в процентном отношении ко всему количеству отказов приведено в табл. 3. Как свидетельствуют представленные данные, отказывают практически все агрегаты машин.

Таким образом, применяемые в ПМС путевые машины по своей эксплуатационной надежности не в полной мере соответствуют напряженному графику летних путевых работ. Низкая надежность этих машин не гарантирует их безотказную службу во время окна. Не обеспечивают этого и профилактические мероприятия, предусмотренные руководствами по эксплуатации машин. К тому же возможности экипажей по устранению неисправностей на месте выполнения путевых работ явно ограничены по ряду причин, в числе которых:

- применение машин не по назначению;
- ограниченный временной интервал между окнами;
- отсутствие специально отведенных мест для очистки машин и выполнения ТО;
- длительное ожидание транспортировки с участка работ к месту базирования (с перегона на станцию);
- удаленность друг от друга мест очередного ремонта и связанная с этим длительная транспортировка машин;
- ограничение рабочего времени экипажей;
- отсутствие на месте проведения ТО необходимой технологической оснастки, инструмента, приспособлений и т. д.

Таблица 2. Простои путевых машин

Тип машины	Кол-во на дороге, ед.	Простои (дни)										Простой на одну машину, дней
		Всего нарастающим итогом	Отмена «окна»	Выходные	Транспортировка	Отсутствие обслуживающих бригад	Пуско-наладочные работы	Техническое обслуживание	Ремонт плановый	Ремонт неплановый	Прочие причины	
Щетноочистительные	139	13190	3026	445	2113	67	115	984	1124	913	4403	94,9
СЗП, МНК	59	3763	724	267	689	13	69	465	349	301	886	63,8
Дуоматик	75	4098	727	68	879	3	67	475	382	863	634	54,6
Унимат	49	2434	301	170	532	2	111	339	269	358	352	49,7
ДСП	77	5251	845	184	996	41	74	614	575	528	1394	68,2
УК-25СП	40	3621	513	319	1206	0	8	343	85	153	994	90,5
ВПРС	161	13060	860	4032	826	473	724	1332	1186	1745	1882	81,1
ВПР	297	22755	2362	5754	3002	205	985	2152	1899	3308	3088	76,6
Итого		68172	9358	11239	10243	804	2153	6704	5869	8169	13633	–



ФОТО: АЛЕКСАНДР ПИКАЛОВ

Особо следует отметить такой общий недостаток эксплуатируемых путевых машин, как их плохая укомплектованность на заводах-изготовителях легкоъемными приспособлениями, обеспечивающими быстрый демонтаж и монтаж, а также разборку узлов и агрегатов в полевых условиях. Эти приспособления позволили бы быстро устранять неисправности на месте, облегчили и ускорили текущий ремонт (ТР) или сезонное обслуживание (СО), так как в абсолютном большинстве случаев можно обходиться без подъемно-транспортных средств.

Важное значение в обеспечении безотказного функционирования машин в сезоне летних путевых работ приобретает их подготовка в зимний период, т. е. качественные и в полном объеме проведенные ТР и СО. Основным методом их выполнения — смешанный, он, как правило, сочетает в себе элементы необезличенного и частично обезличенного (агрегатно-узлового) методов. Снятые с машины узлы, агрегаты и оборудование вновь устанавливают на ту же машину после их диагностики, обслуживания или мелкого ремонта. Если же узел или агрегат бракуется из-за невозможности его восстановления силами участка ремонта, то его заменяют новым или заранее отремонтированным.

Результат использования технических средств, в том числе путевых машин, во многом зависит от «возрастной» структуры парка. Исследования ВНИИЖТ показывают, что годовая выработка машин на 6-7-й год эксплуатации, как правило, снижается в 1,2–1,3 раза [3; 4].

Сегодня с помощью капитального ремонта можно восстановить ресурс машин на 80–85 %, и на 11-12-й год эксплуатации (через 4–5 лет после капитального ремонта) годовая выработ-

ка большинства машин, как правило, сокращается на 25–35 % по сравнению с периодом эксплуатации в первые пять рабочих сезонов.

Рациональное оснащение железных дорог путевыми машинами, сопровождающееся ликвидацией физически и морально устаревших единиц, позволит ускорить внедрение ресурсосберегающих технологий ремонтов и снизить эксплуатационные расходы в путевом хозяйстве.

Таким образом, в сложившейся ситуации можно предложить следующие меры:

- повысить надежность новых машин;
- изменить систему распределения новой техники по региональным дирекциям таким образом, чтобы сходные по назначению машины были однотипны и по конструкции;
- организовать на дорогах промежуточные базы, которые могли бы обеспечивать эксплуатирующие организации необходимыми запасными частями в кратчайшие сроки (по пер-

вому требованию, по системе «точно вовремя»);

- предусмотреть для мелкого ремонта на каждой машине запасной индивидуальной пакет (ЗИП), который постоянно расходуется и, соответственно, требует быстрого пополнения; на предприятиях, занимающихся капитальным и средним ремонтами путевых машин, комплектование ЗИПов должно быть безусловным;
- довести оснащенность ПМС до регламентированных норм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных производственных систем. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Рябинин И. А., Киреев Ю. Н. Надежность электроэнергетических систем и судового электрооборудования. Л.: Судостроение, 1974.
3. Гришов А. И. От оздоровления пути зависит его надежность // Путь и путевое хозяйство. 2009. № 3.
4. Королев А. И., Бойко Н. Ф. Состояние парка путевых машин ОАО «РЖД» // Путь и путевое хозяйство. 2008. № 1

Таблица 3. Распределение отказов по составным частям путевых машин

Тип машин	Приборы безопасности	Силовые установки	Агрегаты трансмиссии	Ходовая часть	Гидравлическое оборудование	Электрооборудование	Рабочие органы	Контрольно-измерительная система
ВПр, ВПрС	2,3	2,3	14,6	0,8	24,6	12,3	24,6	19,5
ДСП	1,4	2,1	50	29	10,5	2	5	–
ПМГ	5,5	13,7	8,2	2,7	19,2	33,6	15	–
УТМ, ТЭУ, ПТМ	–	44	–	–	–	56	–	–
ЩОМ, СЧ	–	–	–	–	18	21	61	–
СЗП	–	–	–	1	15	73	11	–
МКГ	–	–	10	–	65	25	–	–
СЗ	–	13	6,6	–	13	66	1,4	–