

Живучесть, надежность, безопасность

УДК 656.25-52

В. И. Шаманов, д-р техн. наук

Кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»,
Московский государственный университет путей сообщения
Императора Николая II

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

В статье рассматриваются вопросы оптимизации технического обслуживания систем железнодорожной автоматики с учетом затрат на их эксплуатацию и ущерба от отказов в них на поездную работу. Проанализированы известные методы оптимизации технического обслуживания систем автоматики. Выявлена возможность получения минимума суммарной интенсивности защитных отказов, включающей в себя интенсивность внезапных, постепенных и послепрофилактических отказов, за счет изменения периодичности выполнения работ. Найден путь решения оптимизационной задачи по эксплуатационным расходам, когда учитываются затраты на плановые работы по техническому обслуживанию систем, расходы на восстановление работоспособности устройств и ущерб в поездной работе от отказов. Показано, что использование такой оптимальной периодичности работ по техническому обслуживанию повышает безопасность движения поездов за счет уменьшения влияния на нее послепрофилактических отказов. Учет временной избыточности позволяет ставить оптимизационные задачи для определения рациональной степени сложности используемых устройств автоматического контроля и диагностирования и степени сложности профилактических работ в зависимости от загруженности поездами участка железной дороги. Оптимизация технического обслуживания систем по критериям безотказности требует задания величины коэффициента готовности и использования метода неопределенных множителей Лагранжа или метода уравнивания чувствительностей. Задача оптимизации технического обслуживания систем по технико-экономическим критериям может быть решена при использовании методов линейного и динамического программирования.

системы автоматики; техническое обслуживание; целевая функция; управляемые переменные; ограничения; методы оптимизации; движение поездов; оптимальная периодичность выполнения работ; критерии безотказности; технико-экономические критерии

Введение

Основной задачей технического обслуживания (ТО) является обеспечение требуемого качества функционирования систем при минимальных эксплуата-

ционных расходах. Перечни, сроки и объемы работ по контролю технического состояния и регламент ТО обуславливаются скоростью протекания деградиционных процессов в устройствах. Эффективность профилактики определяется своевременностью работ и их качеством. Изменение во времени условий эксплуатации устройств вызывают необходимость корректировки регламента ТО.

Современный уровень науки и практики эксплуатации систем железнодорожной автоматики позволяет ставить оптимизационные задачи профилактики только касающиеся работ, связанных с защитными отказами, причем постановка задачи зависит, в первую очередь, от способа контроля или учета фактического состояния устройств [1, 2]. Работы, связанные с опасными отказами, и у нас [3, 4], и за рубежом [5, 6] предпочитают выполнять так, как традиционно принято, без изменений.

На железных дорогах России применяется, главным образом, регламентное ТО систем автоматики [7], хотя по состоянию эти системы эксплуатируются все шире [8]. Регламент этот избыточен, что не только удорожает работы по ТО, но и приводит к появлению дополнительных послепрофилактических отказов, возникающих вследствие нарушения правил производства работ или низкого их качества. Например, анализ распределения отказов на одной из дорог показал, что послепрофилактические отказы составляют более 50% от общего количества.

Переход на обслуживание по состоянию сдерживают относительно большие расходы на системы автоматического контроля и то, что получаемая от них информация не всегда достоверна.

Вопросы оптимального управления состоянием эксплуатируемых технических систем давно находятся под пристальным вниманием ученых и инженеров. Актуальны они и для систем железнодорожной автоматики.

1 Анализ методов оптимизации технического обслуживания

При анализе методов управления ТО используются общепринятые в задачах оптимизации понятия: целевая функция, управляемые переменные, ограничения [9, 10, 11].

В качестве целевой функции при оптимизации ТО используют чаще всего удельные эксплуатационные расходы [12–16]. С учетом того, что профилактика является эффективным средством предупреждения постепенных отказов, целью управления могут быть минимизация или ограничение параметра сверху потока отказов [13, 14, 17, 18], минимизация коэффициента простоя [13], максимизация коэффициента готовности или коэффициента технического использования [7, 19, 20].

В качестве управляемой переменной используется периодичность профилактических работ или замен [15, 16, 20–22], при этом могут учитываться

продолжительность и стоимость профилактики или отношение среднего времени, затрачиваемого на регламентные профилактические работы, к среднему времени на восстановление устройств [19]. Управляемыми переменными могут быть также число контролируемых параметров, стратегия контроля работоспособности, интенсивность аварийных работ, стратегия ТО сложных резервированных систем, число запасных элементов [13, 14, 23].

Ограничениями могут служить отдельные составляющие или суммарная величина удельных эксплуатационных расходов на ТО, допустимое время ТО, коэффициент технического использования [12–14], достоверность контроля, полнота восстановления работоспособности [24, 25], допустимый уровень вероятности отказов, например опасных [3, 4, 25], полнота информации о надежности, наличие или ограниченность запасного комплекта элементов и средств для проверок [24, 26].

При управлении могут учитываться влияние эргатических элементов [27–30], длительность времени регулирования параметров при разной степени восстановления работоспособности объектов [14], распределение времени проявления отказа [28], результаты диагностирования и контроля состояния устройств [12, 31, 32].

Выбор целевой функции, управляемых переменных или ограничений определяется требованиями к надежности систем автоматики и условиями их эксплуатации.

2 Оптимизация периодичности технического обслуживания систем

Избыточная периодичность ТО, не уменьшая интенсивности внезапных и постепенных отказов, приводит к росту интенсивности субъективных послепрофилактических отказов $\lambda^{\text{пп}}(t)$, при этом чем сложнее устройство и ниже квалификация обслуживающего персонала, тем больше процент этих отказов. Все сказанное в полной мере относится к устройствам железнодорожной автоматики, что подтверждается как нашими исследованиями [34], так и данными других авторов [5, 7, 30]. Функция $\lambda^{\text{пп}}(t)$ является монотонно убывающей, и в большинстве случаев ее можно аппроксимировать прямой или экспонентой $\lambda^{\text{пп}}(t) = \lambda^{\text{пп}} e^{-\xi_{\text{пп}} t}$, где параметр $\xi_{\text{пп}}$ зависит от свойств сложной системы и квалификации обслуживающего персонала [14].

Обозначим τ_6 базовую избыточную периодичность ТО, которая берется за исходную для поиска более рациональной периодичности. Следует учитывать, что в общем случае интенсивность внезапных отказов зависит также от состояния устройства.

Пусть увеличение периодичности от τ_6 до τ_1 не сказывается на интенсивности постепенных отказов, т. е. τ_1 является границей избыточности профилактик (рис. 1). При периодичности τ_2 получаем $\lambda^{\text{пп}}(\tau_2) = \min$. Тогда на

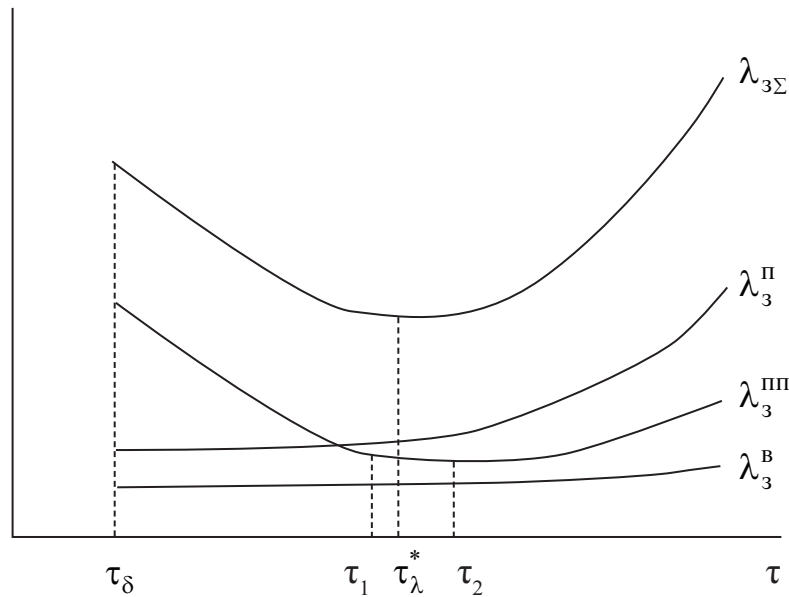


Рис. 1. Оптимум периодичности τ технического обслуживания систем:
 λ_3^B – интенсивность внезапных отказов; $\lambda_3^П$ – интенсивность постепенных отказов;
 $\lambda_3^{ПП}$ – интенсивность послепрофилактических отказов; $\lambda_{3\Sigma}$ – суммарная
интенсивность отказов

отрезке $[\tau_6, \tau_1]$ интенсивность внезапных λ_3^B и постепенных $\lambda_3^П$ защитных отказов будет неизменна, а интенсивность послепрофилактических отказов $\lambda^{ПП}$, включающая в себя интенсивность опасных $\lambda_0^{ПП}$ и защитных $\lambda_3^{ПП}$ отказов, будет уменьшаться, отчего будет уменьшаться и суммарная интенсивность защитных отказов $\lambda_{3\Sigma} = \lambda_3^B + \lambda_3^П + \lambda_3^{ПП}$.

Дальнейшее увеличение периодичности профилактик приведет к возрастанию λ_3^B и $\lambda_3^П$, однако $\lambda_3^{ПП}$ будет продолжать уменьшаться, пока при периодичности τ_2 не начнут больше сказываться на $\lambda^{ПП}$ последствия возрастающего объема работ по восстановлению работоспособности устройств. Следовательно, оптимальная по минимуму интенсивности защитных отказов периодичность ТО τ_λ^* находится внутри отрезка $[\tau_1, \tau_2]$.

Расходы C_3 на эксплуатацию устройств железнодорожной автоматики включают в себя затраты C_Π на плановые работы по ТО, на восстановление работоспособности устройств после отказов C_B и на их обновление C_0 путем проведения капитальных ремонтов, модернизации и замен, а также ущерб в поездной работе C_y , вызываемый отказами данных устройств или выполнением ремонтных работ с выключением устройств. Результаты наших исследований и специалистов ПГУПС (ЛИИЖТа) показывают, что при ТО рассматриваемых устройств соотношение затрат на профилактику и восстановление работоспособности C_Π/C_B для устройств электрической централизации находится в пределах 75–80 при средней величине коэффициента технического использования $K_T = 0,996$, а для устройств автоблокировки – в пределах 12–14 при $K_T = 0,998$.

Примем затраты на обновление $C_0 = \text{const}$. Тогда увеличение периодичности τ_δ приводит к снижению затрат на профилактику C_Π , а ущерб в поездной работе C_y и затраты на восстановление работоспособности устройств C_B имеют минимум при $\tau = \tau_\lambda^*$ (рис. 2). Для участков с высокой интенсивностью движения поездов $C_\Pi \gg C_y > C_B$ [33]. При снижении интенсивности движения поездов затраты C_y и C_B сближаются.

Увеличение периодичности более τ_λ^* приводит к возрастанию C_y и C_B , и оптимальное значение периодичности профилактик τ_c^* по минимуму удельных эксплуатационных затрат C_3 находится в интервале $[\tau_1, \tau_2]$, на границах которого $C_\Pi(\tau_1) = C_y(\tau_1)$ и $C_\Pi(\tau_2) = C_B(\tau_2)$. С уменьшением интенсивности движения поездов оптимум τ_c^* будет сдвигаться вправо. Как видно из рис. 1 и 2, для реальных условий $\tau_c^* > \tau_\lambda^*$. Следует отметить, что увеличение периодичности профилактик до τ_λ^* повышает безопасность движения поездов вследствие уменьшения влияния на нее послепрофилактических отказов.

Таким образом, существует оптимальная периодичность ТО устройств железнодорожной автоматики по защитным отказам. При оптимизации ТО по критериям безотказности учитывается изменение периодичности профилактик, а использование технико-экономических критериев обеспечивает обобщенную оценку получаемого эффекта.

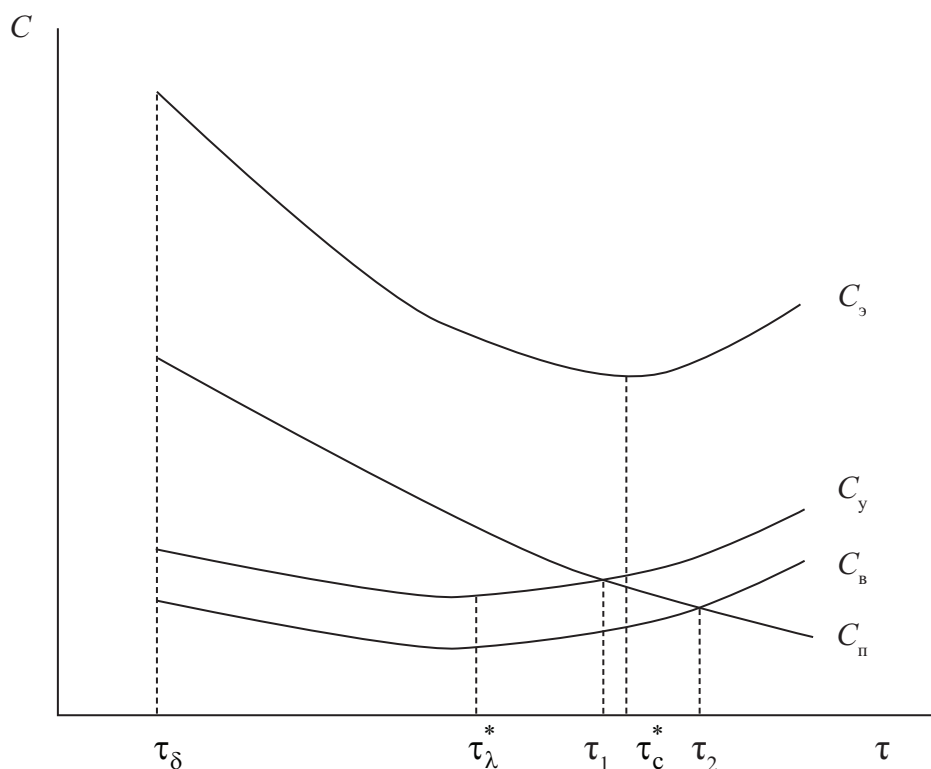


Рис. 2. Оптимум эксплуатационных расходов:

C_Π – затраты на плановые работы; C_B – расходы на восстановление работоспособности систем; C_y – ущерб в поездной работе; C_3 – суммарные эксплуатационные расходы

При оценке качества функционирования систем железнодорожной автоматики необходимо принимать во внимание то, что они относятся к техническим системам с временной избыточностью, так как заявки на выполнение системной задачи поступают через отрезки времени, равные длительности межпоездного интервала. В результате при выполнении определенных условий относительно использования избыточного времени поезда как объекты управления перестают реагировать на отказы устройств железнодорожной автоматики. Следовательно, отказы этих устройств приводят к дополнительным потерям в управляемом процессе – к ущербу в поездной работе.

Коэффициент готовности к выполнению задания системы с временной избыточностью за заданное время как функция резервного времени $t_{\text{и}}$ и совокупности технических и временных характеристик системы w , которые определяют условия использования резерва времени:

$$K_{\text{г}}(t_{\text{и}}, w) = K_{\text{г}} + (I - K_{\text{г}})[t_{\text{в}} \leq t_{\text{вп}}(t_{\text{и}}, w)], \quad (1)$$

где $K_{\text{г}}$ – коэффициент готовности системы; $t_{\text{в}}$ – интервал времени от момента появления заявки до момента восстановления работоспособности; $t_{\text{вп}}$ – предельно допустимое время $t_{\text{в}}$, выбираемое в зависимости от характера решаемой задачи.

Следовательно, временной резерв заметно повышает коэффициент готовности системы за заданное время, если обнаружение отказа и восстановление работоспособности происходят в резервное время $t_{\text{и}}$.

Для обнаружения отказа при отсутствии заявки на использование маршрута нужны устройства автоматического контроля состояния системы, что повышает ее стоимость и расходы на эксплуатацию. Это ведет к линейному при невысокой интенсивности движения поездов или нелинейному при высокой интенсивности движения нарастающему ущербу в поездной работе.

Таким образом, наличие временного резерва позволяет ставить оптимизационные задачи для определения рациональной степени сложности используемых систем автоматики или степени сложности системы ТО в зависимости от грузонапряженности участка железной дороги.

3 Оптимизация технического обслуживания систем по критериям безотказности

Для нормального функционирования систем железнодорожной автоматики необходимо определение оптимальной периодичности профилактических работ при совместном проявлении внезапных и постепенных отказов с учетом законов распределения времени безотказной работы для устройств «стареющего» типа [34].

Периодичность профилактического обслуживания будет оптимальной τ^* при выполнении следующего условия [14]:

$$\Lambda(\tau^*) - \Lambda_{\text{cp}}(\tau^*) = 0, \quad \tau^* \neq 0, \quad (2)$$

где Λ – мгновенное значение интенсивности отказов; Λ_{cp} – среднее ее значение.

При кажущейся простоте этого метода практическое применение его сопряжено, прежде всего, с относительной трудоемкостью вычислений из-за сложной зависимости параметра потока отказов устройств от интенсивности переходов его во времени в различные состояния. Например, даже для простой модели невосстанавливаемого устройства уравнение (2) решалось с учетом статистических испытаний [14]. Сложности возрастают, если учитывать в модели интенсивность восстановлений.

Переход к найденной оптимальной периодичности профилактик приведет к изменениям интенсивности переходов между состояниями в модели надежности, что вызовет необходимость коррекции периодичности профилактик. Для высоконадежных систем интенсивность отказов во времени изменяется медленно, а количество отказов невелико, поэтому получение требуемого для расчетов статистического материала сопряжено с необходимостью проведения эксперимента на длительном отрезке времени, на котором условия эксплуатации системы могут заметно измениться.

Метод непосредственной оценки оптимальности периодичности ТО по статистическому материалу для $\omega(\tau)$ позволяет исключить указанные трудности, но требует оптимизации стратегии поиска для уменьшения числа необходимых экспериментов.

Исследуемая функция является выпуклой унимодальной. Если не учитывать ошибки эксперимента, то задача рассматриваемого одномерного поиска экстремума упрощается, становясь детерминированной. Учет ошибок эксперимента требует решения стохастической задачи, что усложняет поиск экстремума, снижая быстроту поиска. Если полученные стохастические оценки интенсивности (параметра потока) отказов являются несмещенными, состоятельными и эффективными, то задачу поиска минимума функции $\omega(\tau)$ можно свести к детерминированной и решать ее методом дихотомии, золотого сечения или смешанной стратегии [35].

При решении стохастических задач основными показателями являются направление поиска и длина шага, а стохастическая аппроксимация во многом подобна процедурам последовательных приближений, которые применяются при отсутствии помех. Появление ошибки эксперимента приводит к удалению от цели, но при правильном выборе длины шага это не сказывается на окончательном результате. Если ошибка эксперимента равномерно огра-

ничена и имеет нулевое среднее, а функция регрессии y такова, что значения среднего углового коэффициента для любой пары наблюдений лежат в пределах некоторого сектора, ограниченного прямыми линиями, т. е. при всех $x_1 \neq x_2$ должно выполняться условие

$$|y(x_2) - y(x_1)| < A|x_2 - x^*| + B < \infty, \quad (3)$$

где x^* – истинная координата вершины; A, B – некоторые постоянные, то при использовании метода Кифера – Вольфовица процесс сходится к точке экстремума унимодальной функции [35].

При реализации задачи оптимизации по минимуму параметра потока отказов необходимо учитывать, что статистические оценки параметра могут оказаться смещенными из-за преднамеренного завышения безотказности устройств.

Учет времени восстановления работоспособности приводит к необходимости оптимизации с использованием комплексных показателей надежности – коэффициента готовности или коэффициента простоя. Оптимизировать показатели системы ТО при этом можно методом неопределенных множителей Лагранжа [10, 36] или методом уравнивания чувствительности [37]. Однако решение прямой задачи оптимизации требует задания величины коэффициента готовности, что выливается в самостоятельную задачу нахождения этой величины с учетом реальных соотношений затрат на ТО и потерь в поездной работе.

4 Оптимизация технического обслуживания систем по технико-экономическим критериям

Экономический аспект оптимизации работ по ТО требует выбора критерия оптимальности. Системы железнодорожной автоматики не дают непосредственного экономического эффекта, поэтому применение таких критериев, как показатели объема транспортной продукции или ее качества, для них не вполне правильно. Более приемлемыми экономическими критериями являются минимум приведенных затрат, минимум эксплуатационных расходов или минимальные трудовые затраты на ТО.

Проанализируем влияние интенсивности движения поездов на величину оптимального коэффициента готовности K_r^* . При $K_r \approx 1$ ущерб в поездной работе от защитных отказов $C_y = 0$, но поддержание такого уровня надежности требует чрезмерных затрат на техническую эксплуатацию устройств $C_{тэ}$.

Пусть при максимальном использовании пропускной способности участка железной дороги на рис. 3 кривая 1 – график функции затрат на техниче-

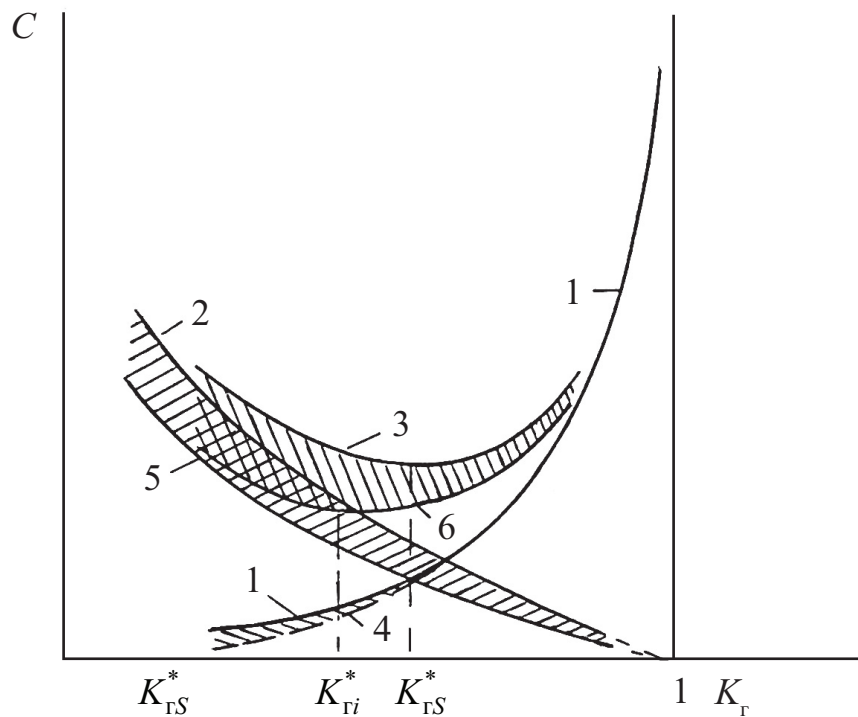


Рис. 3. Оптимум коэффициента готовности системы:

1, 4 – расходы на эксплуатацию систем автоматики; 2, 5 – ущерб в поездной работе от отказов систем автоматики; 3, 6 – суммарные эксплуатационные расходы

скую эксплуатацию систем автоматики $C_{тэS}(K_r)$, а кривая 2 – график функции потерь в поездной работе $C_{yS}(K_r)$ при существующей организации ТО и ремонта устройств. Тогда кривая 3 – график функции суммарных эксплуатационных расходов $C_{эS}(K_r) = C_{yS}(K_r) + C_{тэS}(K_r)$ в данных условиях, минимум которой достигается при величине коэффициента готовности K_{rS}^* .

Уменьшение интенсивности движения поездов приводит к уменьшению ущерба C_y , а также к некоторому уменьшению затрат $C_{тэ}$ вследствие уменьшения потерь времени на пропуск поездов при ТО и ремонтах. Пусть кривая 5 – график функции $C_{yi}(K_r)$, кривая 4 – график функции $C_{тэi}(K_r)$, а кривая 6 – график издержек $C_{эi}$ при минимальной интенсивности движения поездов. Следовательно, при уменьшении интенсивности движения поездов оптимальное значение коэффициента K_r^* также уменьшается, изменяясь в области определения $[K_{ri}, K_{rS}]$, а точка K_{rj}^* при j -х условиях использования систем железнодорожной автоматики по назначению принадлежит множеству $S = \{K_r : K_r \in [K_{ri}, K_{rS}], dC_э / dK_r = 0\}$.

Использование классических методов отыскания экстремальных точек функции $C_э(K_r)$ наталкивается на сложность аналитического представления исследуемой функции, что серьезно затрудняет отыскание совокупности стационарных точек. Усугубляет ситуацию то, что коэффициент готовности K_r сам

является функцией параметров, которые используются для управления процессами ТО и ремонта. Эти трудности в значительной степени преодолеваются при применении методов линейного и динамического программирования.

Заключение

Основную часть расходов на техническую эксплуатацию систем железнодорожной автоматики составляют затраты на содержание эксплуатационного штата при регламентном проведении большинства работ по ТО для обеспечения требуемого уровня надежности. В то же время данные системы все шире эксплуатируются по состоянию, что требует, в свою очередь, капитальных затрат на устройства автоматического контроля и диагностики параметров систем, а также расходов на обслуживание дополнительных устройств, которые не всегда дают достоверную информацию. Поэтому задача оптимизации расходов в дистанциях сигнализации, централизации и блокировки весьма актуальна.

Анализ методов оптимизации технического обслуживания для систем автоматики различного назначения позволил выбрать наиболее перспективные методы минимизации интенсивности защитных отказов в системах железнодорожной автоматики или эксплуатационных расходов. Показана возможность оптимизации периодичности выполнения работ по ТО данных систем, в том числе с учетом их временной избыточности. Доказана возможность оптимизации данного процесса по критерию безотказности и технико-экономическим критериям.

Результаты данного исследования могут быть использованы при проектировании систем технической эксплуатации устройств железнодорожной автоматики.

Библиографический список

1. Шаманов В. И. Оптимизация периодичности технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / В. И. Шаманов, А. В. Пультяков // Труды Ростовского гос. ун-та путей сообщения. – 2008. – № 2. – С. 35–38.
2. Inagaki T. Optimal reliability design of systems under changing environment / T. Inagaki, K. Inone, H. Arashi // Trans. Soc. Instrum. and Contr. Eng. – 1978. – Vol. 14. – N 6. – Pp. 679–684.
3. Лисенков В. М. Управление безопасностью перевозок и рисками потерь. Анализ безопасности и рисков потерь / В. М. Лисенков // Автоматика, телемеханика и связь. – 1996. – № 5. – С. 19–22.
4. Сапожников Вал. В. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников,

- Х. А. Христов, Д. В. Гавзов ; под. ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Транспорт, 1995. – 272 с.
5. Венер Л. Текущее содержание устройств СЦБ и связи / Л. Венер // Железные дороги мира. – 1984. – № 2. – С. 10–15.
 6. Тарнаи Г. Безопасность систем СЦБ / Г. Тарнаи // Железные дороги мира. – 1967. – № 6. – С. 28–30.
 7. Брейдо А. И. Организация обслуживания устройств железнодорожной автоматики и связи / А. И. Брейдо, В. А. Овсянников. – М. : Транспорт, 1983. – 208 с.
 8. Никитин А. Б. Совершенствование диагностики систем ЖАТ / А. Б. Никитин // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 11. – С. 14–15.
 9. Раскин Л. Г. Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления / Л. Г. Раскин. – М. : Советское радио, 1976. – 344 с.
 10. Таха Хэмди А. Введение в исследование операций / А. Таха Хэмди. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.
 11. Барзилович Е. Ю. Эксплуатация авиационной техники по состоянию (элементы теории) / Е. Ю. Барзилович, В. Ф. Воскобоев. – М. : Транспорт, 1981. – 197 с.
 12. Игнатов В. А. Статистическая оптимизация качества функционирования электронных схем / В. А. Игнатов, Г. Г. Маньшин, В. А. Трайнев. – М. : Энергия, 1972. – 264 с.
 13. Маньшин Г. Г. Управление режимами профилактики сложных систем / Г. Г. Маньшин. – Минск : Наука и техника, 1986. – 256 с.
 14. Abdel-Hameed M. Optimal replacement of damaged devices / M. Abdel-Hameed, J. N. Shimi // J. Appl. Probab. – 1978. – Vol. 15. – № 1. – Pp. 153–161.
 15. Attia T. A. Optimal replacement policy with continuously varying observable damage / T. A. Attia, P. J. Brockwell // Stochastic Processes and Applications. – 1984. – Vol. 18. – N 1. – Pp. 113–126.
 16. Александров Г. Н. Экономически оптимальное формирование показателей надежности систем автоблокировки / Г. Н. Александров // Сб. науч. тр. МИИТа. – 1976. – Вып. 503. – С. 3–12.
 17. Иыуду К. А. Оптимизация устройств автоматики по критерию надежности / К. А. Иыуду. – Л. : Энергия, 1966. – 140 с.
 18. Герцбах И. Б. Модели профилактики / И. Б. Герцбах. – М. : Советское радио, 1969. – 120 с.
 19. Игнатов В. А. Элементы теории оптимального обслуживания технических изделий / В. А. Игнатов, Г. Г. Маньшин, В. В. Констановский. – Минск : Наука и техника, 1974. – 192 с.
 20. Ильичев А. В. Эффективность проектируемой техники: Основы анализа / А. В. Ильичев. – М. : Машиностроение, 1991. – 335 с.
 21. Степанов С. В. Сроки назначения профилактических работ / С. В. Степанов. – М. : Советское радио, 1972. – 144 с.
 22. Федотов А. Е. Научные основы эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики : дис. ... д-ра техн. наук / А. Е. Федотов. – Л. : ЛИИЖТ, 1985. – 403 с.
 23. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен. – М. : Радио и связь, 1988. – 392 с.

24. Каштанов В. А. Вопросы математической теории надежности / В. А. Каштанов, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев, И. Н. Коваленко, Е. Ю. Барзилович, И. А. Ушаков ; под ред. Б. В. Гнеденко. – М. : Радио и связь, 1983. – 524 с.
25. Воскобоев В. Ф. Об оптимальном управлении состоянием технической системы при наличии ограничений / В. Ф. Воскобоев // Основные вопросы теории и практики надежности. – М. : Советское радио, 1975.
26. Kawai Y. An optimal ordering and replacement policy of a Markowian degradation system under complete observation / Y. Kawai // Journal of the Operations Research Society of Japan. – 1983. – Vol. 26. – N 4. – Pp. 279–308.
27. Губинский А. И. Надежность и качество функционирования эргатических систем / А. И. Губинский. – Л. : Наука, 1982. – 270 с.
28. Маньшин Г. Г. Методы профилактического обслуживания эргатических систем / Г. Г. Маньшин, Е. Ю. Барзилович, В. Ф. Воскобоев. – Минск : Наука и техника, 1983. – 222 с.
29. Rasmissen J. The human as a systems component / J. Rasmissen // Hum. Interact. Comp. – London, 1980. – Pp. 67–96.
30. Funk K. H. Theories models and human – machine systems / K. H. Funk // Math. Model. – 1983. – Vol. 4. – N 6. – Pp. 567–587.
31. Каштанов В. А. Модели технического обслуживания при ограниченной информации о надежности и наличии ошибок контроля / В. А. Каштанов // Вопросы математической теории надежности. – 1983. – С. 287–296.
32. Robin M. Optimal maintenance and inspection: an impulsive control approach / M. Robin // Lect. Notes Contr. Inform. Sci. – 1978. – N 6. – Pp. 186–198.
33. Шаманов В. И. Методика расчета эффективности технических мероприятий по повышению надежности действующих устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) / В. И. Шаманов, Б. М. Ведерников. – М. : МПС СССР, 1989. – 80 с.
34. Шаманов В. И. Надежность и эффективность устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / В. И. Шаманов. – Алматы : АЛИИТ, 1992. – 78 с.
35. Уайлд Д. Дж. Методы поиска экстремума / Д. Дж. Уайлд. – М. : Наука, 1967. – 267 с.
36. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных производственных систем / Г. В. Дружинин. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.
37. Кузьмин И. В. Оценка эффективности и оптимизация автоматических систем контроля и управления / И. В. Кузьмин. – М. : Советское радио, 1971. – 234 с.

Victor I. Shamanov

«Automation, telemekhanics and communication on railway transport» department,
Moscow state university of railway engineering

Methods of optimization of technical maintenance of automation systems

In the article the questions of optimization of technical service systems of railway automatics taking into account the cost of their exploitation and loss from

the failure to train them on the job sites of the railroads. Analyzed the known methods of optimization of technical service systems automation. Showed possibility to reduce total intensity of the protective failures, including the intensity of the sudden, gradual and after servicing failures, by changing the frequency of preventive maintenance. Found the solution to the optimization problem in operational costs when considering the costs of planned maintenance in service-level systems, the cost of restoration of working capacity of devices and damage to train work from failures. It is shown that the use of such optimal frequency of maintenance increases the safety of train movement by reducing the influence after servicing failures. Consideration time redundancy allows you to set the optimization problem to determine the rational degree of complexity of the devices used for automatic monitoring and diagnosis or complexity of preventive maintenance depending on the congestion of trains of the railway. Optimization of maintenance of systems by criteria of reliability requires setting the value of the availability and use the method of undetermined multipliers of Lagrange or the method of balancing sensitivities. It was determined that the problem of optimization of maintenance of systems on techno-economic criteria can be solved by using the methods of linear and dynamic programming.

the automation system; maintenance services; objective function; managed parameters; constraints; methods of optimization; movement of trains; technical servicing of the optimal frequency of works; time redundancy, the criteria of reliability; technical and economic criteria

References

1. Shamanov V. I., Pul'tyakov A. V. (2008). Optimization of maintenance interval for automation and remote control devices [Optimizatsiya periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki], Proceedings of Rostov state transport university (Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya), issue 2, pp. 35–38.
2. Inagaki T., Inone K., Arashi H. (1978). Optimal reliability design of systems under changing environment, Trans. Soc. Instrum. and Contr. Eng., vol. 14, issue 6, pp. 679–684.
3. Lisenkov V. M. (1996). Transportation and loss risk safety management. Analysis of safety and loss risk [Upravleniye bezopasnost'yu perezovok i riskami poter'. Analiz bezopasnosti i riskov poter'], Automation, remote control and communication (Avtomatika, telemekhanika i svyaz'), issue 5, pp. 19–22.
4. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Khristov Kh. A., Gavzov D. V. (1995). Methods of building of reliable microelectronic systems for railway automation [Metody postroyeniya bezopasnykh mikroelektronnykh sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki] ; under the editorship of Vl. V. Sapozhnikov. Moscow, Transport, 272 p.
5. Vener L. (1984). Maintenance work for signaling, interlocking and communication arrangements [Tekushcheye soderzhaniye ustroystv STSB i svyazi], Railroads of the world (Zheleznnye dorogi mira), issue 2, pp. 10–15.

6. Tarnai G. (1967). Safety of signals and interlocking systems [Bezopasnost' sistem STSB], Railroads of the world (Zheleznnye dorogi mira), issue 6, pp. 28–30.
7. Breido A. I., Ovsyannikov V. A. (1983). Organization of maintenance for railway automation and communication devices [Organizatsiya obsluzhivaniya ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i svyazi]. Moscow, Transport, 208 p.
8. Nikitin A. B. (2014). Improving of diagnostics of ZhAT systems [Sovershenstvovaniye diagnostiki sistem ZHAT], Automation, communication, information science (Avtomatika, svyaz', informatika), issue 11, pp. 14–15.
9. Raskin L. G. (1976). Analysis of complex systems and parts of optimal-control theory [Analiz slozhnykh sistem i elementy teorii optimal'nogo upravleniya]. Moscow, Sov. radio, 344 p.
10. Taha Hamdy A. (2005). Operations Research: An Introduction [Vvedeniye v issledovaniye operatsiy]. Moscow, Publishing house «Williams» (Izdatel'skiy dom «Vil'yams»), 912 p.
11. Barzilovich E. Yu., Voskoboev V. F. (1981). Condition-based operation of aviation equipment: (parts of theory) [Ekspluatatsiya aviatsionnoy tekhniki po sostoyaniyu: (elementy teorii)]. Moscow, Transport, 197 p.
12. Ignatov V. A., Man'shin G. G., Traynev V. A. (1972). Statistical optimization of electronic circuits performance [Statisticheskaya optimizatsiya kachestva funktsionirovaniya elektronnykh skhem]. Moscow, Energy (Energiya), 264 p.
13. Man'shin G. G. (1986). Maintenance mode management of complex systems [Upravleniye rezhimami profilaktiki slozhnykh sistem]. Minsk, Science and technology (Nauka i tekhnika), 256 p.
14. Abdel-Hameed M., Shimi J. N. (1978). Optimal replacement of damaged devices, J. Appl. Probab, vol. 15, issue 1, pp. 153–161.
15. Attia T. A., Brockwell P. J. (1984). Optimal replacement policy with continuously varying observable damage, Stochastic Processes and Applications, vol. 18, issue 1, pp. 113–126.
16. Aleksandrov G. N. (1976). Economically-optimal definition of reliability indicators for automatic block systems [Ekonomicheski optimal'noye formirovaniye pokazateley nadezhnosti sistem avtoblokirovki], Collection of research papers of MIIT (Sbornik nauchnykh trudov MIITa), issue 503, pp. 3–12.
17. Iyudu K. A. (1966). Optimization of automation devices based on reliability criterion [Optimizatsiya ustroystv avtomatiki po kriteriyu nadezhnosti]. Leningrad, Energy (Energiya), 140 p.
18. Gertsbakh I. B. (1969). Preventive model [Modeli profilaktiki]. Moscow, Sov. radio, 120 p.
19. Ignatov V. A., Man'shin G. G., Konstantinovskiy V. V. (1974). Parts of the theory of optimal maintenance of engineering products [Elementy teorii optimal'nogo obsluzhivaniya tekhnicheskikh izdeliy]. Minsk, Science and technology (Nauka i tekhnika), 192 p.
20. Il'ich'ov A. V. (1991). The effectiveness of designed technology: Analysis basics. Moscow, Mechanical engineering, 335 p.
21. Stepanov S. V. (1972). Terms of routine maintenance assignment [Sroki naznacheniya profilakticheskikh rabot]. Moscow, Sov. radio, 144 p.

22. Fedotov A. E. (1985). Scientific basis for railway automation and remote control systems operation [Nauchnyye osnovy ekspluatatsii sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki]. Ph. D. thesis in Engineering Science (Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk). Leningrad, LIIZhT, 403 p.
23. Beichelt F., Franken P. (1988). Reliability and maintenance: Mathematical method. [Nadezhnost' i tekhnicheskoye obsluzhivaniye. Matematicheskiy podkhod]. Moscow, Radio and communication (Radio i svyaz'), 392 p.
24. Kashtanov V.A., Belyaev Yu. K., Solov'ev A. D., Kovalenko I. N., Barzilovich E. Yu., Ushakov I.A. (1983). Problems of mathematical theory of reliability [Voprosy matematicheskoy teorii nadezhnosti], under the editorship of B. V. Gnedenko. Moscow, Radio and communication (Radio i svyaz'), 524 p.
25. Voskoboev V.F. (1975). On optimal management of technical system state subject to limitations [Ob optimal'nom upravlenii sostoyaniyem tekhnicheskoy sistemy pri nalichii ogranicheniy], Basic tasks of reliability theory and practice (Osnovnyye voprosy teorii i praktiki nadezhnosti). Moscow, Sov. radio.
26. Kawai Y. (1983). An optimal ordering and replacement policy of a Markowian degradation system under complete observation, Journal of the Operations Research Society of Japan, vol. 26, issue 4, pp. 279–308.
27. Gubinsky A. I. (1982). Reliability and performance of ergatic systems [Nadezhnost' i kachestvo funktsionirovaniya ergaticheskikh sistem]. Leningrad, Science (Nauka), 270 p.
28. Man'shin G. G., Barzilovich E. Yu., Voskoboev V.F. (1983). Methods of routine maintenance for ergatic systems [Metody profilakticheskogo obsluzhivaniya ergaticheskikh sistem]. Minsk, Science and technology (Nauka i tekhnika), 222 p.
29. Rasmussen J. (1980). The human as a systems component, Hum. Interact. Comp. London, pp. 67–96.
30. Funk K. H. (1983). Theories models and human – machine systems, Math. Model, vol. 4, issue 6, pp. 567–587.
31. Kashtanov V.A. (1983). Maintenance models under limited information about reliability and in case of inspection errors [Modeli tekhnicheskogo obsluzhivaniya pri ogranichennoy informatsii o nadezhnosti i nalichii oshibok kontrolya], Problems of mathematical reliability theory (Voprosy matematicheskoy teorii nadezhnosti). Moscow, pp. 287–296.
32. Robin M. (1978). Optimal maintenance and inspection: an impulsive control approach, Lect. Notes Contr. Inform. Sci., issue 6, pp. 186–198.
33. Shamanov V. I., Vedernikov B. M. (1989). Efficiency calculation method for technical arrangements for reliability improvement of operating signaling, centralization and blocking devices (STsB) [Metodika rascheta effektivnosti tekhnicheskikh meropriyatiy po povysheniyu nadezhnosti deystvuyushchikh ustroystv signalizatsii, tsentralizatsii i blokirovki (STsB)], MPS USSR. Moscow, 80 p.
34. Shamanov V. I. (1992). Reliability and efficiency of railway automation and remote control devices [Nadezhnost' i effektivnost' ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki]. Almaty, ALIIT, 78 p.
35. Wilde D. J. (1967). Extremum searching methods [Metody poiska ekstremuma]. Moscow, Science (Nauka), 267 p.

36. Druzhinin G. V. (1986). Reliability of CAM systems [Nadezhnost' avtomatizirovannykh proizvodstvennykh sistem]. Moscow, Energoatomizdat, 480 p.
37. Kuz'min I. V. (1971). Efficiency assessment and optimization of automated control and management systems [Otsenka effektivnosti i optimizatsiya avtomaticheskikh sistem kontrolya i upravleniya]. Moscow, Sov. radio, 234 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Д. С. Марковым
Поступила в редакцию 04.01.2016, принята к публикации 18.02.2016*

ШАМАНОВ Виктор Иннокентьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Московского государственного университета путей сообщения Императора Николая II.
e-mail: shamanov_vi@mail.ru

© Шаманов В. И., 2016