

Согласно оценке Федерального агентства железнодорожного транспорта, научные школы Петербургского государственного университета путей сообщения являются одними из ведущих среди всех научных школ транспортной отрасли. Эксперты, оценивавшие различные аспекты деятельности ученых, учитывали, в первую очередь, фундаментальность исследований, влияние работ на уровень мировых и отечественных достижений в данной области. Наивысшей оценки удостоена, в частности, научная школа «Автоматика и телемеханика на железных дорогах», к которой относятся авторы публикуемой статьи.

Эффективность систем технической диагностики и мониторинга состояния устройств железнодорожной автоматики и телемеханики

ВЛ. В. САПОЖНИКОВ, докт. техн. наук, профессор ПГУПС, А. А. ЛЫКОВ, канд. техн. наук, ПГУПС, Д. В. ЕФАНОВ, ПГУПС, Н. А. БОГДАНОВ, ПГУПС

В цели реформирования ОАО «Российские железные дороги» входит повышение рентабельности компании, снижение издержек вследствие повышения эффективности работы железнодорожного транспорта, доведения технического и технологического уровня инфраструктуры, сферы их содержания и ремонта до лучших мировых стандартов.

Безаварийная и экономичная эксплуатация современной железнодорожной инфраструктуры с обеспечением необходимого уровня безопасности движения поездов требует автоматизированных измерительных и диагностических устройств. Передовые позиции в этой области занимает отрасль железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), где на протяжении ряда лет создаются и внедряются системы технической диагностики и мониторинга (СТДМ), надстраиваемые над существующими системами ЖАТ [1–3].

Как и в любой технической системе, в системах ЖАТ периодически происходят отказы, которые по возможным последствиям делят на опасные и защитные [4]. В результате опасных отказов могут произойти крушения поездов, аварии, другие серьезные нарушения нормального функционирования транспорта, поэтому схемы систем ЖАТ строят с исключением опасных отказов [5, 6], т. е. так, чтобы возникновение наиболее вероятных неисправностей приводило систему в защитное состояние. Защитные же отказы не приводят к катастрофам и авариям, но влекут за собой простой поездов, а необходимость оперативного устранения неисправностей и их последствий ведет к увеличению эксплуатационных расходов на содержание систем ЖАТ.

Непрерывный автоматизированный контроль состояния устройств ЖАТ позволяет выявить граничные значения контролируемых параметров, принять меры по устранению предпосылок возникновения отказа и, таким образом, предотвратить его. Поскольку при этом отказ еще не произошел, не стали явными его последствия, не возник простой поездов, эксплуатационные расходы сокращаются.

Однако если затраты на строительство СТДМ, расходы на ее содержание превысят сумму сэкономленных средств от предотвращенных отказов, применение такой системы будет нецелесообразным. Поэтому вопрос эффективности СТДМ актуален.

Характеристика отказов в устройствах ЖАТ

Как уже отмечалось, в процессе эксплуатации устройств ЖАТ происходят нарушения их работоспособного состояния — отказы. По характеру возникновения отказы принято делить на постепенные, внезапные и перемежающиеся [4]. Понятно, что внезапные отказы — случайные события, предотвратить их практически невозможно, поскольку они появляются вследствие скачкообразного изменения значений параметров объекта. Однако с помощью СТДМ можно зафиксировать время и место возникновения отказа и сохранить данные в архиве, что впоследствии позволит провести логическую и статистическую обработку данных за определенный период работы.

Постепенные отказы происходят в результате постепенного изменения параметров объекта, поэтому их появление можно прогнозировать, а значит, и предотвращать, если имеются соответствующие датчики, выполняющие непрерывный сбор диагностической информации, и система оповещения оперативного персонала для своевременного восстановления функционирования объекта. Перемежающиеся



Отказы устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ)

отказы связаны с кратковременными воздействиями внешних факторов на параметры объекта. Их невозможно предотвратить, но можно фиксировать для дальнейшей логической и статистической обработки.

Очевидно, что СТДМ, контролирующая все элементы сложных систем ЖАТ, получилась бы весьма дорогостоящей и вряд ли можно было бы говорить об ее эффективности. Существующие СТДМ, как правило, контролируют определенные ключевые параметры систем ЖАТ, дальнейшая логическая обработка которых позволяет выявлять отказавшие устройства и узлы и устанавливать причины неисправностей. Другими словами, СТДМ не дает возможности обнаруживать отказы всех элементов устройств ЖАТ. Таким образом, все множество отказов устройств ЖАТ можно разделить на две части (рис.): подмножество отказов, которые могут быть обнаружены с помощью СТДМ (обнаруживаемые отказы, их количество за промежуток времени ΔT обозначим через N_O), и подмножество отказов, с помощью СТДМ не обнаруживаемых (их количество за тот же промежуток времени ΔT обозначим через N_H).

Часть обнаруживаемых отказов (как правило, это постепенные отказы) может быть предотвращена за счет своевременного выявления предотказного состояния — такого состояния, при котором значения контролируемых параметров технического объекта достигают предельных норм, и проведения ремонтных мероприятий. Количество отказов, обнаруживаемых и предотвращаемых системой мониторинга за определенный период времени, обозначим $N_{OП}$. Обнаруживаемые отказы, происходящие внезапно, предотвратить невозможно. Будем считать, что за определенный период времени ΔT происходит N_{OH} непредотвращаемых отказов.

Отказы могут не обнаруживаться СТДМ вследствие ее конструктивных особенностей и невозможности контролировать все элементы систем ЖАТ; будем считать, что за рассматриваемый период времени их происходит N_{HH} . Кроме того, СТДМ может выйти из строя, какое-то время находиться в неработоспособном состоянии и поэтому не зафиксировать отказ системы ЖАТ. Таких отказов за период времени ΔT может произойти N_{HY} .

Общее число отказов в системе ЖАТ за период времени ΔT можно вычислить как

$$N = N_O + N_H. \quad (1)$$

Подмножество обнаруживаемых отказов состоит из двух типов отказов: обнаруживаемых и предотвращаемых, а также обнаруживаемых, но по какой-либо причине непредотвращаемых. Их количество за определенный период времени ΔT можно вычислить как

$$N_O = N_{OП} + N_{OH}. \quad (2)$$

Подмножество необнаруживаемых отказов, в свою очередь, также состоит из двух типов отказов: необнаруживаемых по причине нахождения СТДМ в неработоспособном состоянии и необнаруживаемых в связи с отсутствием датчиков съема диагностической информации. Их количество за определенный период времени ΔT определяется как

$$N_H = N_{HH} + N_{HY}. \quad (3)$$

Из (1) — (3) следует, что общее количество отказов, происходящих за определенный период времени ΔT , вычисляется как

$$N = N_{OП} + N_{OH} + N_{HH} + N_{HY}. \quad (4)$$

Рассчитаем долю отказов, предотвращаемых на стадии предотказных состояний, от общего количества отказов устройств ЖАТ за период ΔT :

$$\xi = \frac{N_{OП}}{N} = \frac{N_{OП}}{N_{OП} + N_{OH} + N_{HH} + N_{HY}}. \quad (5)$$

Одним из критериев эффективности СТДМ является величина коэффициента ξ . Чем ближе он к единице:

$$\xi \rightarrow 1. \quad (6)$$

тем более эффективна СТДМ. Очевидно, выполнение условия (6) возможно за счет уменьшения величин N_{OH} , N_{HH} и N_{HY} либо за счет увеличения $N_{OП}$. Уменьшение N_{HY} достигается увеличением качества покрытия датчиками СТДМ устройств ЖАТ, поскольку это ведет к увеличению количества информации об их состоянии. Уменьшение N_{HH} выполняется благодаря повышению надежности СТДМ: улучшению ее внутренней структуры, методов обработки диагностической информации, применению более совершенной элементной базы, использованию принципов самопроверяемости и самодиагностирования.

Уменьшение N_{OH} , а следовательно, увеличение $N_{OП}$ затруднительно, поскольку характер возникающих отказов изменить невозможно (внезапно возникающий отказ непредотвратим).

Оценка экономической эффективности СТДМ

Эффективность внедрения системы мониторинга можно оценить следующим образом. Ущерб от возникновения отказа определяется расходами на восстановление исправного состояния системы (запчасти, материалы, оплата труда) и издержками, связанными с простоем поездов на время ремонта. Потери P от возникновения отказов за определенный период времени ΔT определим как

$$P = p_j N, \quad (7)$$

где p_j — средние потери от возникновения одного отказа;

N — общее количество отказов за период времени ΔT .

Экономический эффект от внедрения СТДМ в общем случае равен экономии средств от ее работы:

$$W = \Delta E. \quad (8)$$

При этом экономия средств [7] является разностью экономии затрат и капиталовложений за расчетный период времени $[0; T]$:

$$\Delta E = \sum_{i=0}^T E_i \cdot \alpha - \sum_{i=0}^T K_i \cdot \alpha, \quad (9)$$

где $\alpha = \frac{1}{(1+D)^i}$ — коэффициент дисконтирования;

D — норма дисконта.

Затраты можно разделить следующим образом [8]: капиталовложения на строительство СТДМ K_c и дополнительные затраты R (затраты на обучение персонала, поддержку и сервисное обеспечение, оплату труда нового штата работников, трудозатраты на устранение ложно выявленных отказов — отказов, внесенных самой СТДМ, амортизационные отчисления и пр.), к которым приводит внедрение СТДМ:

$$\sum_{i=0}^T K_i \cdot \alpha = \sum_{i=0}^T (K_c + R)_i \cdot \alpha. \quad (10)$$

Затраты на строительство СТДМ складываются из затрат на материальную составляющую СТДМ K_m , нематериальные активы (программное обеспечение) $K_{но}$ и трудозатрат на строительство и отладку оборудования K_m .

Если обозначить экономию средств за счет отказов, обнаруженных СТДМ и предотвращенных техническим персоналом, E_o , а другие статьи экономии (к примеру, экономию средств вследствие сокращения эксплуатационного штата) — E_d , то можно записать следующее выражение, характеризующее экономию средств на весь расчетный период $[0; T]$:

$$\sum_{i=0}^T E_i \cdot \alpha = \sum_{i=0}^T (E_o + E_d)_i \cdot \alpha. \quad (11)$$

Одним из показателей эффективности внедрения СТДМ является индекс доходности I , вычисляемый как отношение приведенного результата (эффекта) к капитальным вложениям

ям [7]. При $I > 1$ внедрение СТДМ считается эффективным, при $I < 1$ проект следует отклонить как неэффективный. Равенство индекса доходности единице означает, что внедрение проекта не приносит прибыли, но и не является убыточным. Используя введенные выше обозначения, запишем формулу индекса доходности внедрения СТДМ так:

$$I = \frac{\sum_{i=0}^T E_i \cdot \alpha}{\sum_{i=0}^T K_i \cdot \alpha} = \frac{\sum_{i=0}^T E_i}{\sum_{i=0}^T K_i} \quad (12)$$

С учетом (9) вычислим потери, которых можно избежать при функционировании СТДМ, предотвращая отказы, выявленные на стадии предотказного состояния:

$$P = \sum_{i=0}^T (E_o)_i \cdot \alpha = \sum_{i=0}^T (p_j \cdot N_{он})_i \cdot \alpha = \sum_{i=0}^T [p_j \cdot (N - N_{он} + N_{нн} + N_{нв})]_i \cdot \alpha \quad (13)$$

Подставив (13) в (11), получим:

$$\sum_{i=0}^T E_i \cdot \alpha = \sum_{i=0}^T [p_j \cdot (N - N_{он} + N_{нн} + N_{нв})]_i \cdot \alpha + \sum_{i=0}^T (E_d)_i \cdot \alpha \quad (14)$$

На основании формул (12) и (14) запишем индекс доходности следующим образом:

$$I = \frac{\sum_{i=0}^T [p_j \cdot (N - N_{он} + N_{нн} + N_{нв})]_i \cdot \alpha + \sum_{i=0}^T (E_d)_i \cdot \alpha}{\sum_{i=0}^T K_i \cdot \alpha} > 1 \quad (15)$$

Преобразуя (15), получим следующее неравенство, характеризующее эффективность внедрения СТДМ:

$$\sum_{i=0}^T [p_j \cdot (N - N_{он} + N_{нн} + N_{нв})]_i + \sum_{i=0}^T (E_d)_i > \sum_{i=0}^T K_i \quad (16)$$

Отсюда следует, что затраты на внедрение, амортизацию, строительство и эксплуатацию СТДМ должны быть меньше суммы сэкономленных средств за расчетный период $[0; T]$, в

этом случае, как уже отмечалось, внедрение СТДМ экономически целесообразно.

Таким образом, для достижения максимальной обнаруживающей способности СТДМ необходимо стремиться с увеличением времени диагностирования сократить до нуля число невыявляемых предотказных состояний устройств СЦБ.

Неосомненно, на эффективность внедрения СТДМ влияют не только сокращение обслуживающего персонала, исключение человеческого фактора в процессе анализа работы устройств ЖАТ, прочие статьи расходов, но и доля обнаруживаемых и предотвращаемых отказов от общего числа отказов, возникающих в устройствах ЖАТ. Эффективность внедрения СТДМ будет тем выше, чем ближе коэффициент ξ к единице. Тем самым будет обеспечиваться максимальная обнаруживающая способность СТДМ, а значит, возможность разработки оптимальных стратегий технического обслуживания устройств ЖАТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеров В. В., Першин Д. С. Центр диагностики и мониторинга устройств ЖАТ // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 1. – С. 29–31.
2. Москвина Е. А. Развитие центра диагностики и мониторинга // Там же. – 2009. – № 11. – С. 2–6.
3. Сепетый А. А. Диагностика и мониторинг на Северо-Кавказской дороге // Там же. – 2008. – № 6. – С. 6–9.
4. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Шаманов В. И. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учебное пособие для вузов ж. д. трансп. / Под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2003.
5. РТМ 32ЦШ 1115842.01-94. Методы и принципы обеспечения безопасности микроэлектронных СЖАТ.
6. РТМ 32ЦШ 1115842.03-94. Правила и методы обеспечения безопасности релейных систем.
7. Ефанов А. Н., Коваленок Т. П., Зайцев А. А. Оценка экономической эффективности инвестиций и инноваций на железнодорожном транспорте: Учебное пособие. – СПб: ИГУПС, 2001.
8. Семичева О. Ю. Оценка инвестиций в современные системы диспетчерского контроля и управления движением поездов / диссертация кандидата экономических наук: 08.00.05. – СПб, 2006.

INTERNATIONAL BLACK SEA TRANSPORT FORUM 2010

**20 - 22
ОКТАБРЯ
2010
ODESSA**



Двенадцатая международная выставка «ТРАНСУКРАИНА 2010»

- Транспортные системы, внутренне и международные перевозки.
- Экспедирование и логистика.
- Порты и терминалы.
- Оборудование и средства механизации погрузочно-разгрузочных работ для портов и терминалов.
- Системы управления, связи и энергосбережения.
- Страхование и инвестиционные программы.



Специализированная выставка «СКЛАДСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ 2010»

- Подъемно-транспортные машины, устройства и установки.
- Проектирование и строительство складов.
- Складские конструкции, стеллажи для европоддонов и разнопрофильные.
- Проектирование, монтаж и сервисное обслуживание складского оборудования.
- Автоматизированные системы управления складом.
- Системы обработки данных, маркировки, штрих-коды, системы безопасности для грузов.



Специализированная выставка «Коммерческий и муниципальный транспорт 2010»

- Коммерческие автомобили: легковые, грузовые, тягачи, специальные.
- Автобусы: городские, туристические.
- Прицепы, фургоны и прицепные устройства.
- Дорожно-строительная техника.
- Автозапчасти, шины, аксессуары для больших авто.



Специализированная выставка «TRANSRAIL UKRAINE 2010»

- Производство и ремонт подвижного состава, комплектующих.
- Железнодорожная инфраструктура, пути, сигнальное оборудование, стрелки, мосты.
- Проектирование и ремонт железных дорог.
- Архитектура железнодорожных вокзалов, обслуживание пассажиров.
- Профессиональное обучение.



Тринадцатая международная конференция по транспорту и логистике

- Пути развития транспортной инфраструктуры Украины и ближнего зарубежья.
- Инвестиционные проекты в транспортной отрасли.
- Нормативно-правовое регулирование транспортной деятельности.
- Интермодальные перевозки. Транспортная логистика.
- Безопасность, страхование на транспорте.

ОРГАНИЗАТОР:
Рекламно-Информационное
Агентство
«МедиаКомпас Украина»



РИА «МедиаКомпас Украина»
15, ул. Жуковского, Одесса, Украина, 65026
тел.: +38 (048) 726-72-54, 726-79-30
тел./факс: +38 (0482) 355-999

CONFERENCE@MEDIACOMPASS.COM.UA
ODESSA@MEDIACOMPASS.COM.UA