



Системотехнический подход к эксплуатационной надежности линии



Таисия ШЕПИТЬКО
Taissia V. SHEPITKO

Григорий НАК
Grigory I. NAK



Шепитько Таисия Васильевна — доктор технических наук, профессор, директор Института пути, строительства и сооружений Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия. Нак Григорий Игоревич — аспирант МИИТ, Москва, Россия.

System Engineering Approach to Operational Reliability of a Railway
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 36)

Авторами обосновывается применение системотехнического подхода к оценке и задачам повышения эксплуатационной надежности железнодорожных линий. Особый акцент делается на взаимозависимости пропускной способности инфраструктуры и общей функциональной готовности системы «железная дорога» с точки зрения соответствия критериям, принятым в теории надежности. Дается своя трактовка понятию «эксплуатационная надежность» и факторам содержания пути в работоспособном состоянии, а также прогнозируются закономерные в локальных ситуациях профилактические и восстановительные действия.

Ключевые слова: железная дорога, инфраструктура, эксплуатационная надежность, содержание пути, пропускная способность, системотехника, теория надежности.

Известно, что важнейшие системотехнические проблемы сосредоточены на стыках взаимодействующих систем. И именно здесь первоочередная область применения системотехники как науки об управлении связями и отношениями [1–3]. В этом контексте изучение и повышение надежности инфраструктуры железных дорог с точки зрения их пропускной способности является не просто системотехнической задачей, в ходе ее решения во многом определяется сама способность к функционированию всей системы «железная дорога» [4, 5].

В научной литературе надежностью называют свойство изделий и систем выполнять свои функции в определенном количестве и при определенных условиях эксплуатации [6, 7]. Имеющиеся в этой области достижения относятся прежде всего к техническим и кибернетическим системам, которые управляют функционированием отдельных изделий и подсистем [8–10].

При строительстве транспортных объектов, текущем содержании и ремонте железнодорожного пути кибернети-

ческие системы применяются в управлении строительно-путевыми машинами, машинами для выправки, подбивки и отделки пути и стрелочных переводов, диагностическими комплексами, а также некоторыми технологическими процессами на предприятиях строительной индустрии.

Существенно сложнее обстоит дело с распространением теории надежности на функционирование такой многозвенной системы, как «железная дорога». Она является разновидностью организационно-технических систем, которые управляют производственными комплексами и процессами с участием больших трудовых коллективов и разнообразных машин. К таким же системам относятся компании, входящие в холдинг «РЖД», включая строительные организации ОАО «РЖДстрой», предприятия, проектные и научные учреждения [11].

Подобные структуры функционируют под постоянным воздействием различных случайных факторов: метеорологических, технических, технологических, социальных, организационных. Совокупное воздействие таких факторов, в том числе и геоэкстремальных, на организационно-техническую систему «железная дорога», несмотря на их разнообразную природу и всевозможные сочетания, приводит в основном к снижению главного показателя функционирования: объемов перевозок в результате ограничения скоростей движения.

ГОСТ 32192-2013 «Надежность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения» [12] трактует железнодорожную линию как совокупность технических подсистем, а не как сложную организационно-техническую систему. В документе ее надежность идентична способности выполнять предусмотренные техническими требованиями функции в течение определенной наработки или периода эксплуатации.

Аналогично этому смыслу определяются такие понятия, как «отказ», «безотказность», «отказоустойчивость», «эксплуатационная надежность». Хотя в ГОСТ 32192-2013 регламентируется

достаточно широкий перечень показателей надежности (единичный, комплексный, расчетный, экспериментальный, эксплуатационный), недостатком перечня остается генетическая неоднородность понятий, которые обозначаются перечисленными терминами. Они характеризуют показатель надежности с точки зрения самого показателя, но не предмета, надежность которого изучается. Поэтому предусмотренные ГОСТ определения не в полной мере отвечают потребностям, возникающим при обсуждении и оценке эксплуатационной надежности железных дорог. Использовать их можно, только признавая железную дорогу сложной организационно-технической системой, а кроме того, скорректировав некоторые толкования.

Есть, к примеру, такой вид отказа, как «частичный». В теории надежности под частичными понимают отказы, после возникновения которых объект может быть использован по назначению, но с меньшей эффективностью, или если вне допустимых пределов находятся значения не всех, а одного либо нескольких выходных параметров. Это более глубокое толкование, чем предусмотренное ГОСТ 32192-2013, где такого рода отказы отражают «частично работоспособное состояние железнодорожного пути», которое характеризуется отступлениями от норм и допусков его устройства и содержания, вызывающими ограничения движения поездов.

Уже отмечалось, для железнодорожной линии главным выходным параметром является объем перевозок или перевезенный тоннаж нетто как продукция производственной организационно-технической системы данного типа. Исходя из этого, собственно, и попытаемся определить интересующий нас показатель эксплуатационной надежности.

Запишем выражение для перевезенного тоннажа нетто:

$$G_{\text{нетто}} = n_{\text{пп}} g_{\text{п}}, \quad (1)$$

где $G_{\text{нетто}}$ — перевезенный тоннаж нетто;

$n_{\text{пп}}$ — число пар поездов;

$g_{\text{п}}$ — средняя грузоподъемность поезда нетто.



Таблица 1

Составляющие продолжительности технического содержания

Время простоя							
Продолжительность технического содержания						Восстановление	
Продолжительность планово-предупредительного обслуживания (планового ремонта)		Продолжительность непланового ремонта Отказ					
Логистическая задержка	Оперативная продолжительность обслуживания (ремонта)	Время до восстановления					
		Логистическая задержка	Оперативная продолжительность ремонта				Административная задержка
			Техническая задержка	Время обнаружения и локализации неисправности	Время устранения неисправности	Время контроля функционирования	

Число пар поездов находим следующим образом:

$$n_m = \frac{T\bar{v}}{2S}, \tag{2}$$

где Т – отчетный период;

$\bar{v}$ – средняя скорость движения поезда на участке железной дороги протяженностью S.

Подставляя (2) в (1) и отнеся результат к продолжительности расчетного периода, для тоннажа нетто получим

$$G_{\text{нетто}} = \frac{g_n}{2S} \bar{v}. \tag{3}$$

Так как протяженность железнодорожной линии и средняя грузоподъемность поезда нетто постоянны, то объем «выпущенной» линией продукции определяется средней скоростью движения поездов.

Если текущие технические параметры линии полностью соответствуют проектным, движение осуществляется с проектной средней скоростью $\bar{v}_0$. При возникновении частичных отказов средняя скорость $\bar{v}$ будет снижаться.

Введем показатель технической готовности $K_{\text{тг}}$ железнодорожной линии:

$$K_{\text{тг}} = 1 - \frac{\bar{v}_0 - \bar{v}}{\bar{v}_0}. \tag{4}$$

Если текущая средняя скорость соответствует проектной, то $K_{\text{тг}} = 1$. При снижении скорости коэффициент готовности будет уменьшаться. При $\bar{v} = 0$ $K_{\text{тг}} = 0$, то есть при остановке движения, техническая готовность железнодорожной линии снижается до нуля.

Средняя скорость определяется как

$$\bar{v} = \frac{S}{t_x^0}, \tag{5}$$

где t_x^0 – проектное время хода по участку линии протяженностью S.

Соответственно находим текущую среднюю скорость:

$$\bar{v} = \frac{S}{t_x^0 + \sum t_i}, \tag{6}$$

где t_i – увеличение времени хода по разным (i-м) причинам.

С учетом изложенного эксплуатационная надежность железнодорожной линии – это вероятность сохранения коэффициента технической готовности на уровне не ниже заданного:

$$N_{\text{ждл}} = P(K_{\text{тг}} \geq K_x) = 1 - F(K_{\text{тг}}), \tag{7}$$

где $N_{\text{ждл}}$ – эксплуатационная надежность железнодорожной линии;

$P(K_{\text{тг}} \geq K_x)$ – вероятность события, при котором $K_{\text{тг}}$ не ниже заданного уровня;

$F(K_{\text{тг}})$ – функция распределения коэффициента технической готовности.

Такой подход позволяет учесть при определении показателя эксплуатационной надежности линии влияние на перевозочный процесс различных факторов. На достаточно протяженном отрезке маршрута снижение средней скорости может вызываться эксплуатационными факторами (например, задержками в процессе переформирования поездов), а также частичными отказами пути на проблемных участках. Принято выделять три уровня снижения коэффициента технической готовности:



1-й уровень — незначительное снижение (до 90%);

2-й уровень — среднее снижение (до 75%);

3-й уровень — существенное снижение (до 50%).

ГОСТ 32192-2013 определяет среднее время до восстановления (железнодорожной техники) как математическое ожидание интервала времени от момента отказа техники до момента восстановления ее работоспособного состояния. Там же зафиксировано, что время ремонта (таблица 1) состоит из логистической, административной и технической задержек, времени обнаружения и локализации неисправности, ее устранения и времени контроля функционирования.

Из перечисленных операций уверенно спрогнозировать удастся продолжительность только двух последних. Логистическая задержка может быть компенсирована за счет реализации плана ремонтных мероприятий, который разрабатывается заранее. Такой же предварительной подготовки требует процедура обнаружения и локализации неисправности. Подобная подготовка позволит свести к минимуму технические и технологические задержки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Системотехника строительства: Энциклопедический словарь / Под ред. А. А. Гусакова. — М.: Новое тысячелетие, 1999. — 432 с.
2. Гусаков А. А. Системотехника строительства. — М.: Стройиздат, 1993. — 366 с.
3. Завадаскис Э.-К. К. Системотехническая оценка технологических решений строительного производства. — Л.: Стройиздат, 1991. — 256 с.

4. Шепитько Т. В., Морозов Д. В. Использование сетевого моделирования для определения надежности принимаемых решений // «Неделя науки 2002». — М.: МИИТ, 2002.

5. Шепитько Т. В., Морозов Д. В. О системотехническом характере проблемы надежности организационно-технологического решения // Безопасность движения поездов: Труды четвертой научно-практ. конференции. — М., МИИТ, 2003. — С. III-33.

6. Берг А. И. Кибернетика и надежность. — М.: Знание, 1964. — 96 с.

7. Надежность технических систем: Справочник / Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др.; под ред. И. А. Ушакова. — М.: Радио и связь. — 1985. — 608 с.

8. Бенсон Д., Уайтхед Дж. Транспорт и доставка грузов: Пер. с англ. — М.: Транспорт, 1990. — 279 с.

9. Ньюэл М. Управление проектами. — М.: Кулици-Образ, 2006. — 416 с.

10. T. K. Littlefield and P. H. Randolph. An Answer to Sasieni's Question on Pert Times, *Management Science*, Vol. 33, No. 10, 1987, pp. 1357–1359.

11. Чертвертнова В. В. Системный анализ эксплуатационной надежности протяженных транспортных объектов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. — 2007. — № 2. — С. 419–424.

12. ГОСТ 32192-2013. Надежность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения.

13. ГОСТ 27.004-85. Надежность в технике: системы технологические, термины и определения.

14. ГОСТ 27.003-90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.

15. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.

16. ГОСТ 27.402-95. Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ).

17. Спиридонов Э. С., Шепитько Т. В. Управление железнодорожным строительством — методы, принципы, эффективность: Учебник. — М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2008. — 597 с.

18. Кубрак А. А. Эксплуатационная надежность пассажирских станций // Мир транспорта. — 2014. — № 4. — С. 60–65.

Координаты авторов: **Шепитько Т. В.** — shepitko-tv@mail.ru, **Нак Г. И.** — nak.g@yamalfinans.com.

Статья поступила в редакцию 11.12.2015, принята к публикации 18.01.2016.

