Никита Андреевич
Аксенов

Nikita A. Aksyonov

Оценка возникновения риска отказа участка контактной сети

Risk assessment of contact network area failure

Аннотация

Опоры контактной сети выступают в качестве поддерживающих конструкций и в значительной степени влияют на регулировку подвески. Это приводит к ухудшению токосъема, ускорению износа полозов токоприемников, контактного провода, длительным задержкам и простоем поездов, нарушает движение. Процессы регулировок опор и закономерности планирования управляющих воздействий для предотвращения этого требуют совершенствования. В связи с этим необходима разработка портативных приборов для быстрого и точного определения угла наклона опор, а также методов, позволяющих выполнить оценку риска отказа участка контактной сети из-за регулировки и спланировать сроки проведения управляющих воздействий.

Ключевые слова: опора, контактная сеть, регулировка, подвеска, контактный провод, риск, угол наклона, прибор, габарит, исследование, параметры, статистика, зигзаг, износ.

DOI: 10.20291/2311-164X-2015-4-57-61

Summary

Contact-line supports act as a supporting structure and greatly affect disadjustment of a hanger. This leads to a degradation of current transfer, accelerates wear of pantograph slides and of a contact wire, disrupts train movement and causes long delays and downtime of trains. Patterns of planning control actions to prevent the process of disadjustment of supports need to be improved. In this regard, it is necessary to develop portable devices for rapid and accurate determination of a support angle, as well as methods to perform risk assessment of contact network area failure because of disadjustment and to plan the timing of control actions.

Keywords: supports, contact network, disadjustment, hanger, contact wire, risk, angle, device, dimension, research, parameters, statistics, stagger, wear.

DOI: 10.20291/2311-164X-2015-4-57-61

Авторы Authors

Никита Андреевич Аксенов, аспирант кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

Nikita Andreevich Aksyonov, postgraduate student of the Transport Power Supply subdepartment of the Ural state University of railway transport (USURT), Yekaterinburg

С увеличением срока службы число опор, отклонившихся от нормы, увеличивается. Угол наклона опоры с течением времени может превысить допустимый и будет способствовать процессу разрегулировок проводов контактной подвески, увеличивая их износ и повышая риск отказа.

Исследования показывают, что изменение угла отклонения опоры на 2° от вертикального габарита приводит к смещению контактного провода на 1,2 см от оси пути, а на 3° — к смещению уже на 12,0 см [1]. Значения при больших изменениях угла наклона приведены в табл. 1.

Таблица 1

Смещение контактного провода $a_{\text{разр}}$ от оси пути при различных углах наклона опор контактной сети

$\varphi, ^\circ$	2	3	4	5
$a_{\text{разр}}, \text{ см}$	1,2	12,0	22,0	33,0

Таким образом, при наклоне опоры контактной сети на угол более чем 3° при максимально допустимом значении зигзага в ± 40 см возможен риск схода контактного провода с полоза токоприемника с последующим разрушением либо токоприемника, либо контактной подвески, либо того и другого.

Отклонение параметров контактной подвески от норматива в эксплуатации учитывается штрафными баллами. При наклоне опоры контактной сети более 3° и отклонении контактного провода в точке фиксации на 16–20 см — району контактной сети устанавливают 50 штрафных баллов. При больших значениях углов применяют прогрессивную шкалу. Поэтому важно предотвратить это опасное событие.

Проведем анализ состояния опорного парка контактной сети. На Свердловской железной дороге, по состоянию на 2015 г., в эксплуатации находятся следующие виды опор (рис. 1).

Рис. 1. Статистический анализ опор, находившихся в эксплуатации по всем дистанциям электроснабжения Свердловской железной дороги

Отказы опор распределяются следующим образом (табл. 2).

Таблица 2

Данные о состоянии опор на 1.03.2015 г. по всем дистанциям электроснабжения

Состояние опор	Количество, шт.
Электрокоррозионные, из них:	22083
● низкоомные	19791
● с током утечки	2343
Дефектные	4980
Глухозаземленные (с $R < 10 \text{ кОм}$)	24
С недопустимым углом наклона	527
Анкерные с «нулевой» изоляцией	307
Новые опоры (с начала года)	23
Замененные (перевод нагрузки), в том числе:	28
● остродефектные	0
● дефектные	15
● со сроком службы более 40 лет	13
● негабаритные	0
● ЭКО	12
Демонтированные нерабочие опоры с начала года	17
Остались недемонтированными	652

Общий парк опор контактной сети составляет 127 446 шт. Из них металлических — 12 789 и железобетонных опор — 114 657. Процентное соотношение по сроку службы этих опор приведено на рис. 2, 3.

Характер диаграмм свидетельствует, что с увеличением срока службы число опор, вышедших из строя, растет, а средняя продолжительность жизни опоры составляет 40 лет. На энергоучастках рассматриваемой дороги количество опор с непереустановленной нагрузкой по статистическим данным составляет 2056 шт., из них:

- всего стоящих под замену остродефектных опор — 4 шт.;
- всего стоящих под замену дефектных опор — 975 шт.

С недопустимым наклоном — 489 шт. опор, из них выправлено 233 шт.

В связи с этим требуется проведение оценки рисков отказов участков контактной сети из-за разрегулировки. Анализ уровней фактических рисков отказов опор и их сравнение с уровнями допустимых рисков дают возможность обоснованно, с использованием количественных показателей принимать решения о допустимости или, наоборот, недопустимости реализации тех или иных проектов контактной сети, о направлении их доработок и корректировок, ведущих к снижению рисков [2].

Рис. 2. Анализ металлических опор

Рис. 3. Анализ железобетонных опор

К достоинствам подхода, базирующегося на использовании матриц риска, следует отнести простоту, наглядность и возможность использования широким кругом специалистов различных направлений в области оценки риска. Матрицы риска позволяют получить целостную систему оценки и документирования рисков, сформулировать предварительные рекомендации по определению приоритетности мер, направленных на обработку различных рисков.

Обеспечение защищенности объектов контактной сети (например, опоры) должно базироваться на управлении рисками, связанными с созданием и эксплуатацией указанных объектов, и предусматривает действия по снижению факторов риска [3].

Понятие риска включает сочетание двух составляющих:

- вероятности возникновения события или сочетания событий, ведущих к опасности, или частоты возникновения таких событий;
- последствий возникновения (ущерба) данных событий.

Анализ риска, включая анализ частот и последствий, а также определение уровня риска, проводится специалистами.

Заключительным этапом в оценке риска является построение матрицы рисков, которое проводится на основе результатов анализа риска.

С контактной сетью может быть связано возникновение следующих рисков:

- поражение одного или нескольких человек электрическим током;
- возникновение загорания или пожара;
- повреждение токоприемников или других частей подвижного состава вследствие провисания провода;
- повреждение подвижного состава и/или верхнего строения пути вследствие падения опоры;
- нарушение безопасности движения;
- задержка поездов.

Риск отказа опоры возникает при следующих необходимых и достаточных условиях:

- наличие источника риска (интенсивность движения, условия работы);
- подверженность (чувствительность) контактной сети к воздействиям источника риска (климатические факторы).

Безопасность функционирования контактной сети как сложной технической системы зависит от показателей безопасности составляющих ее составных частей.

Произведем оценку риска задержки поездов из-за разрегулировки контактной подвески, связанной с недопустимым углом наклона опоры контактной сети [4].

Исходные данные для расчета:

- интервал наблюдения — 3 года;
- тип проекта анкерных участков — КС-120, постоянный ток;
- количество эталонных объектов (перегонных анкерных участков) — 70;
- количество отказов контактной сети на участке — 3 первой категории и 2 третьей категории;
- продолжительность устранения отказов до возобновления движения — 2,35 час.;
- ущерб, соответствующий рассматриваемому риску, — задержка поездов, час.;
- допустимый уровень риска — задержка поездов на перегоне.

Интенсивность отказов 1-й категории для рассматриваемого участка определяется по выражению:

$$\lambda = \frac{r}{T_{\text{наб}}}, \quad (1)$$

где: λ — интенсивность отказов; r — количество отказов 1-й категории; $T_{\text{наб}}$ — интервал наблюдения, год.

Интенсивность отказов для заданного события (разрегулировки контактной подвески):

$$\lambda_1 = \lambda \times k. \quad (2)$$

Эталонная интенсивность отказов (на 1 эталонный объект) для заданного события:

$$\lambda_1^3 = \frac{\lambda_1}{n_A} \times k^k \times k^c, \quad (3)$$

где: k^k — справочный коэффициент; n_A — количество эталонных анкерных участков.

Величина ущерба на один отказ:

$$C = \frac{C_{\Sigma}}{r}, \quad (4)$$

где: r — количество отказов 1-й категории; C_{Σ} — продолжительность устранения отказов до возобновления движения.

Уровень риска на один эталонный объект определяется как

$$R = f \times C = \lambda_1^3 \times C \quad (5)$$

и составляет $R = 0,0085$ часа.

Данный риск означает, что на рассматриваемом участке один эталонный объект может привести к задержке поездов на время 0,0085 часа в год.

Уровень риска для участка в целом равен 0,171 часа.

Выполним оценивание риска. Так как величина допустимого риска известна, проведем сравнение рассчитанного значения с допустимым.

Исходя из полученных значений, получаем: $R_{уч} = 0,171$, а $R_{доп} = 0,1$ и $R_{уч} > R_{доп}$, следовательно, риск возникновения разрегулировки для рассматриваемого участка является недопустимым.

Построим матрицу рисков для разрегулированной контактной подвески. Для этого зададим ось частот. Поскольку отсутствует необходимое количество статистических данных, выберем шаг шкалы частот, равный 2,5, и примем, что частота рассматриваемого события находится в середине области «вероятное» шкалы частот. При этом нижняя (верхняя) граница области «вероятное» будет меньше (больше) интенсивности на половину шага, или в 2,5 раза, а границы областей будут отличаться на один шаг, то есть в 2,5 раза.

В результате получим следующие значения, соответствующие шести уровням шкалы частот:

● частое:

$$0,35 \text{ год} < f \leq 2,5 \times 0,35 \text{ год} \rightarrow 0,35 \text{ год} < f \leq 0,88 \text{ год};$$

● вероятное:

$$\frac{0,22}{\sqrt{2,5}} < f \leq 0,22 \times \sqrt{2,5} \rightarrow 0,14 \text{ год} < f \leq 0,88 \text{ год};$$

● случайное:

$$\frac{0,14}{2,5} \text{ год} < f \leq 0,14 \text{ год} \rightarrow 0,056 \text{ год} < f \leq 0,14 \text{ год};$$

● редкое:

$$\frac{0,056}{2,5} \text{ год} < f \leq 0,056 \text{ год} \rightarrow 0,022 \text{ год} < f \leq 0,056 \text{ год};$$

● крайне редкое:

$$\frac{0,022}{2,5} \text{ год} < f \leq 0,022 \text{ год} \rightarrow 0,0088 \text{ год} < f \leq 0,022 \text{ год};$$

● маловероятное:

$$\frac{0,0088}{2,5} \text{ год} < f \leq 0,0088 \text{ год} \rightarrow 0,0035 \text{ год} < f \leq 0,0088 \text{ год}.$$

Зададим шкалу последствий. Определим шаг шкалы последствий, равный 4, и примем, что ущерб, равный 1 часу, соответствует границе уровней тяжести последствий «критический» и «катастрофический».

Получаем следующие значения, соответствующие четырем уровням шкалы последствий:

● катастрофический: 1 час $< C \leq 4$ час;

● критический: 0,25 час $< C \leq 1$ час;

● незначительный: 0,063 час $< C \leq 0,25$ час;

● незначительный: 0,016 час $< C \leq 0,063$ час.

Перемножив шаги шкал частот и последствий, получим шаг уровней рисков, равный 10. Определим границы, соответствующие 4 категориям риска:

● недопустимый:

$$R_{доп} < R \leq 10 \times R_{доп} \leq 0,1 \text{ час} < R \leq 1 \text{ час};$$

● нежелательный:

$$0,1 \times R_{доп} < R \leq R_{доп} \rightarrow 0,01 \text{ час} < R \leq 0,1 \text{ час};$$

● допустимый:

$$0,01 \times R_{доп} < R \leq 0,1 \times R_{доп} \rightarrow 0,001 \text{ час} < R \leq 0,01 \text{ час};$$

● не принимаемый в расчет:

$$0,001 \times R_{доп} < R \leq 0,01 \times R_{доп} \rightarrow 0,0001 \text{ час} < R \leq 0,001 \text{ час}.$$

Построим матрицу рисков, соответствующую данным критериям (рис. 4).

0,88	Частое	0,0055	0,22	0,88	3,52
0,35	Вероятное	0,022	0,088	0,35	1,4
0,14	Случайное	0,0088	0,035	0,14	0,56
0,056	Редкое	0,0035	0,014	0,056	0,22
0,022	Крайне редкое	0,0014	0,0056	0,022	0,088
0,0088	Маловероятное	0,00056	0,022	0,0088	0,035
0,0035		Незначительный	Несущественный	Критический	Катастрофический
		0,016 час	0,063 час	0,25 час	1 час

Рис. 4. Матрица рисков задержки поездов вследствие разрегулировки контактной подвески

Поскольку полученная матрица содержит ячейки со всеми четырьмя возможными уровнями риска, то она удовлетворяет условию совместности. Если полученная матрица не удовлетворяла бы данному условию, то тогда требуется корректировка шкал частот и последствий и повторение ранжировки ячеек.

Определим ячейку матрицы, в которую попадает рассчитанный выше риск. Имеем частоту 0,22 года и тяжесть последствий 0,78 час. Отложим на соответствующих осях эти числовые значения. Пересечение этих значений находится в выделенной ячейке на рис. 4. Поскольку полученный уровень риска $R_{\text{уч}} = 0,171$ больше допустимого уровня $R_{\text{доп}} = 0,1$, то риск является недопустимым, и в соответствии с таблицей требуется принятие решения по исключению риска и необходимости его обработки.

Проведенные исследования позволяют определить следующие основные результаты и сделать выводы:

1. Несмотря на постепенное проведение капитального ремонта участков контактной сети, большое количество существующих опор находятся в недопустимом по надежности состоянию и влияют на разрегулировку контактной подвески.

2. Для повышения надежности работы контактной сети требуется проведение оценки рисков отказов участков из-за разрегулировки и планирование определенных управляющих решений по исключению риска.

3. Требуется разработка приборов по автоматическому контролю установочных параметров опор контактной сети. **ИТ**

Список литературы

1. Ли В. Н. Опрокидывающий момент опоры контактной сети / В. Н. Ли, А. С. Сапов, Л. С. Демина // Мир транспорта / Московский гос. ун-т путей сообщения. — М., 2012. — Вып. 2 (40). — С. 4–11.
2. Галкин А. Г. Применение контракта жизненного цикла для инфраструктурного комплекса системы токосъема / А. Г. Галкин, А. А. Ковалев, А. В. Микава // Транспорт Урала. — Екатеринбург, 2012. — № 3 (24). — С. 85–90.
3. Распоряжение ОАО «РЖД» от 27 декабря 2007 г. № 2459р об утверждении «Методики определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены сложных технических систем железнодорожного транспорта». — URL: <http://jd-doc.ru/2007/dekabr-2007/12704-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-27-12-2007-n-2459r>
4. Ковалев А. А. Оценка состояния опор контактной сети на протяжении жизненного цикла / А. А. Ковалев, А. В. Окунев // Инновационный транспорт. — Екатеринбург, 2015. — № 3 (17). — С. 23–29. — ISSN 2311–164X.