

# Оценка риска выброса пути

**Выбросы пути, представляющие собой внезапные поперечные его перемещения под воздействием продольных сил в рельсах, вызванных термическим удлинением, остаются основным видом нарушений состояния пути на железных дорогах как Северной Америки, так и остальных регионов мира. В течение последних 5 лет из-за выбросов пути только в США ежегодно происходило в среднем 34 схода подвижного состава с рельсов, а связанные с этим издержки, по оценке Федеральной железнодорожной администрации (FRA), составляли 11 млн. дол. в год.**

Сходы подвижного состава и высокие затраты на предупреждение выбросов пути и устранение их последствий побудили железные дороги уделить больше внимания факторам, которые могут повлиять на вероятность выброса пути (таким, как температура укладки рельсов, выполнение путевых работ в жаркое время и т. п.) и нейтральную температуру рельсов или, иначе говоря, на сопротивление пути выбросу. Однако, поскольку аппаратура для определения нейтральной температуры рельсов немногочисленна и сложна в эксплуатации, железнодорожные администрации при управлении рисками выброса пути полагаются в основном на профилактические мероприятия.

В целях активизации деятельности по определению мест, опасных с точки зрения выброса пути, и снижению рисков выброса корпорация Zeta-Tech Associates совместно с железной дорогой Burlington Northern Santa Fe (BNSF) разработала соответствующую методологию.

Принятый в данной методологии аналитический подход использует характерные для определенного участка факторы риска выброса пути, охватывающие особенности инфраструктуры и движения поездов, и призван оценить существующие на участке риски. На основе полученной оценки определяют вероятность выброса пути и необхо-

димость выполнения тех или иных действий по его предупреждению.

Эта методология предназначена для широкомасштабного применения на отдельных участках, линиях или на сети в целом.

## Аналитический подход

Общий аналитический подход предусматривает членение железной дороги на небольшие однородные отрезки длиной порядка 150–400 м и расчет значения фактора риска исходя из состояния пути, поездной нагрузки и окружающей обстановки на каждом отрезке.

Расчет фактора риска основывается на теории выброса пути, которая связывает возможность возникновения этого явления с ростом температуры рельсов выше нейтральной (нейтральной считается температура ненапряженного рельса) и с сопротивлением рельсошпальной решетки выбросу. Используя зависимость между температурой и продольной силой в рельсе, рассчитывают величину риска выброса в зависимости от эквивалентного прироста температуры. Таким образом, общий риск выброса включает:

- основной риск от фактического превышения температуры рельсов над нейтральной для данного отрезка;
- дополнительные риски, зависящие от характеристик пути и дви-

жения поездов и определяемые по эквивалентному повышению или понижению фактической температуры относительно базовой.

Суммируя факторы основного и дополнительных рисков, рассчитывают эквивалентное превышение температуры, которое в свою очередь непосредственно соотносится с риском выброса пути в данном месте. Чем выше этот показатель, тем больше опасность выброса.

## Основной риск

Основной фактор риска определяется в зависимости от разности между максимальной и нейтральной температурой рельсов на анализируемом отрезке пути. Для расчета максимальной температуры окружающей среды используются климатические данные Национальной океанической и атмосферной администрации США и Национального центра климатических данных (NCDC). База данных NCDC содержит сведения за 20–90 лет (для разных конкретных регионов хронологический диапазон также разный). Обычно принимают в расчет максимальные значения температуры наружного воздуха за 10 лет, характеризующиеся 99,95%-ной достоверностью.

Для получения максимальной температуры рельсов максимальное значение температуры наружного воздуха увеличивают на 17 °С. Несмотря на то что отмечалась разница температуры рельсов и наружного воздуха, достигавшая 22 °С, исследования BNSF показали, что применительно к анализу выброса целесообразно использовать значение превышения в диапазоне от 14 до 17 °С (в зависимости от местных условий).

Важным параметром является нейтральная температура рельсов. Наилучшая для расчета — фактическая нейтральная температура рельсов, но она, как правило, неизвестна. В лучшем случае есть информация о температуре укладки или регулировки рельсов, и, если

эта температура известна, ее следует использовать. Когда нет сведений ни о фактической нейтральной температуре, ни о температуре укладки или регулировки рельсов, что характерно для большинства участков линий BNSF, используется расчетная нейтральная температура.

Затем вычисляется базовая величина риска исходя из разности между максимальной температурой рельсов и нейтральной температурой или температурой укладки и/или регулировки. Так, для территорий с максимальной температурой наружного воздуха 40,5 °С и заданной нейтральной температурой 35 °С базовый фактор риска равен (40,5 °С + 17 °С) — 35 °С = 22,5 °С, или 40 °F (в соответствии с принятой в США температурной шкалой принимается именно последняя цифровая величина основного фактора риска, т. е. 40).

### Дополнительные риски

Следующая часть методологии анализа риска включает использование дополнительных факторов риска для отражения условий, которые влияют как на сопротивление выбросу пути, так и на нейтральную температуру рельсов на конкретном отрезке пути. Эти дополнительные факторы связаны не с температурой, а в большей степени с характеристиками пути и движения поездов. К числу характеристик пути можно отнести, например, ширину балластной призмы, от которой во многом зависит сопротивляемость поперечному сдвигу рельсошпальной решетки. Соответствующие ослаблению или усилению конструкции пути характеристики могут способствовать понижению или повышению его прочности. К числу характеристик движения поездов можно отнести, например, наличие или отсутствие резких торможений на крутых уклонах, которые могут вызывать продольное смещение рельсов и, таким образом, влия-

ть на их нейтральную температуру. Следовательно, совокупность этих характеристик оказывает непосредственное влияние на вероятность выброса пути.

При изучении факторов риска использованы теоретические и прикладные источники, в числе которых можно указать:

- модель безопасности бесстыкового пути Национального центра транспортных систем министерства транспорта США;
- теорию выброса пути А. Д. Керра (A. D. Kerr);
- теорию продольного крипа;
- экспертные оценки.

Величины дополнительных факторов риска определяются в единицах эквивалентного понижения или повышения температуры относительно базовой величины. Это позволяет понять и применить математический подход, в котором расчет общего риска включает сложение и вычитание из величины основного риска значений тех параметров, которые увеличивают или уменьшают вероятность выброса пути на данном отрезке.

### Конкретный пример

Данный подход можно рассмотреть на примере отрезка пути № 186 длиной 250 м, расположенного на втором пути одной из линий BNSF вблизи г. Орина, штат Вайоминг.

На основании приведенных характеристик определяются факторы риска. Основной фактор равен 38, фактор кривой — +9, фактор резкого торможения на уклоне — +14, фактор параметров пути — +19, фактор состояния пути — +1, фактор путевых работ — +5; общий фактор риска равен 86 (высокий).

Этот пример относится к реальному участку пути BNSF. Необходимо отметить, что ряд неуказанных факторов не использован, поскольку они в данном случае несущественны или отсутствуют.

Полученное значение фактора риска отражает высокую веро-

Характеристики участка	
Грузонапряженность, млн. ткм брутто/км/год	51,5
Радиус кривой, м	330
Уклон, ‰	12,7
Путь	бесстыковой
Тип рельсов	136RE
Шпалы	деревянные
Рельсовые скрепления	костыльные
Переезды	имеются
Светофоры	имеются
Скорость движения грузовых поездов, км/ч	40
Одиночная замена рельсов	04.11.2003 и 21.01.2004
Последняя разрядка напряжений в рельсах	5 лет назад
Максимальное отклонение поверхности катания рельсов по вертикали, мм	9,9
Максимальное отклонение пути в плане, мм	7,6
Максимальная температура рельсов, °С	56
Нейтральная температура рельсов, °С	35
Максимальная температура окружающей среды, °С	39,5
Превышение температуры рельсов над температурой окружающей среды, °С	16,5
Превышение температуры рельсов над нейтральной, °С	21

ятность выброса пути и, следовательно, схода подвижного состава с рельсов на данном отрезке. Последующие натурные осмотры подтвердили эту оценку и обусловили принятие соответствующих мер со стороны местных работников службы пути.

### Дальнейшее применение

После разработки и опытного применения аналитического подхода данную методологию применили на четырех 16-километровых (10-мильных) участках BNSF общей длиной 64 км, находящихся в следующих местах:

- в Оринском подразделении (мильные отметки 55 – 65)
- в Галвестонском подразделении (мильные отметки 205 – 215),
- в Хай-Лайнском подразделении (мильные отметки 965 – 975),
- в Нидлсском подразделении (мильные отметки 690 – 700).

Анализ участков выполняли по отдельным отрезкам длиной от 320 до 480 м, обладающим относительно однородными характеристиками пути. Всего на протяжении 64 км исследовано 180 отрезков. В анализе использовались сведения о максимальной температуре окружающего воздуха за 10-летний период, полученные из ближайших территориальных органов регистрационного ведомства США.

На трех отрезках величина общего фактора риска превышала 70. Наибольшее его значение (71) отмечено на отрезке Галвестонского подразделения между отметками 206,2 и 206,6 мили. Местный дорожный мастер подтвердил проблемность этого места.

После этого методология оценки риска выброса пути была опробована на базе данных BNSF о тепловых инцидентах (выбросах пути) за период с 1996 по 2002 г. В этой базе данных выделено 54 случая, по которым имелась достаточная информация для использования методологии.

Данное исследование послужило также в качестве ориентировочного, поскольку все 54 случая были официально подтверждены, относились к термически сложным ситуациям, и поэтому соответствующие отрезки пути должны иметь более высокую оценку риска, чем рассмотренные выше. Действительно, почти у половины мест величина фактора риска была не менее 70. Более того, восемь мест имели величину фактора риска от 80 до 89, шесть мест — 90 и более, а максимальная величина фактора в одном месте составила 97.

Усовершенствованная методология затем была использована еще на 208 км железной дороги BNSF, а именно:

- в Милк-Риверском подразделении Монтанского отделения, участок длиной 48 км (мильные отметки 316–346);
- в Твин-Пиксском подразделении Паудер-Риверского отделения,

участок длиной 40 км (мильные отметки 265–290);

- в Бирмингемском подразделении Спрингфилдского отделения, участок длиной 80 км (мильные отметки 660–710);
- в Кахонском подразделении Южно-Калифорнийского отделения, участок длиной 40 км (мильные отметки 55–80).

Начиная с 1996 г. в пределах этих участков зафиксированы 24 термически сложные ситуации со сходками подвижного состава, без схода, со слитыми стыками и с температурными неровностями.

Информация по указанным 208 км также была выбрана из базы данных BNSF. Всего выявили и проанализировали 650 мест пути. Одно место имело величину фактора риска выброса пути более 80, еще три — от 70 до 79, т. е. в четырех местах величина фактора риска превышала 70 — величину, определенную ранее в качестве пороговой.

На основе результатов анализа провели консультации с дорожными мастерами BNSF, ответственными за текущее содержание пути, и выявили связь их опыта с теоретическими положениями. В итоге были установлены следующие пороговые оценки фактора риска выброса пути:

- очень высокий риск — 80 и более;
- высокий риск — 70–80.

После всего этого была разработана полностью автоматизированная аналитическая модель риска выброса BuckleRisk, пригодная для применения на всей сети линий BNSF. С ее помощью исследовали 39 тыс. км пути, разделенных более чем на 133 тыс. отрезков длиной в среднем 290 м. По каждому из этих отрезков была собрана информация из базы данных BNSF и внешних источников.

В феврале 2004 г. в ожидании предстоящего жаркого лета данную модель использовали для всей сети линий BNSF. Выявлено 30 потен-

циально опасных отрезков (0,02 % протяженности всей сети) с очень высоким значением фактора риска (более 80) и еще 961 отрезок (0,72 % протяженности сети) с высоким значением указанного показателя (от 70 до 79). На 30 отрезках с особо высокой опасностью выброса работники местных служб немедленно провели инспектирование пути и на девяти из них в марте-апреле выполнили температурную разрядку рельсов.

В середине мая провели повторный анализ с использованием обновленной информации о состоянии пути. Выявлено 24 отрезка с высоким риском выброса. Последующий натурный осмотр потребовал разрядки рельсов на 13 из них. В течение жаркого лета (с июня по август) с помощью системы BuckleRisk провели еще несколько циклов анализа.

## Итоги

Рассмотренная методология позволила успешно выявить отрезки пути с высокой степенью опасности выброса, что было подтверждено работниками, связанными с текущим содержанием пути. Число выявленных отрезков признано разумным и не повлекло за собой чрезмерной занятости персонала операциями по исправлению пути. Компьютеризация методологии упростила ее применение, обновление данных и оперативные расчеты риска выброса пути.

Использование модели BuckleRisk на BNSF позволило в течение летнего сезона выявить более 100 мест с очень высокой опасностью выброса и обеспечило самое низкое (нулевое) число сходов подвижного состава по причине потери устойчивости пути за всю историю существования железной дороги.