



# Метод оценки отказов клеммно-болтовых промежуточных креплений



Николай ЛЫСЕНКО  
Nikolay N. LYSENKO

Евгений МЕЛЕШОНКОВ  
Evgeny I. MELESHONKOV



Алексей ДЕРЖАВИН  
Alexey N. DERZHAVIN

*Лысенко Николай Николаевич* – кандидат технических наук, доцент Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.  
*Мелешонков Евгений Иванович* – кандидат технических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия.  
*Державин Алексей Николаевич* – аспирант МИИТ, Москва, Россия.

**Method of Estimation of Clip-Bolt Intermediate Fastenings Failures**  
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 182)

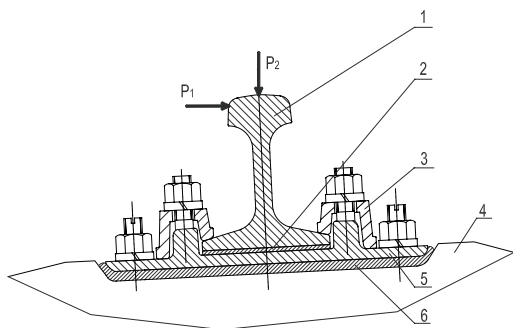
**Авторами решается задача определения эксплуатационных рисков, касающихся элементов железнодорожного пути при нарастающих с течением времени изменениях геометрии рельсовой колеи из-за ослабления или поломок клеммно-болтовых промежуточных креплений.**

**Для оценки отказов креплений предложен метод, основанный на использовании параметра отжатия рельсов под поездной нагрузкой. Параметр может быть получен с помощью автоматизированных диагностических средств типа КВЛ-П, АДКИ «ЭРА» и аналогичных им. В статье дается схема расчёта величины отжатия головки рельса в зависимости от количества дефектных креплений. Оговорены условия применения метода.**

*Ключевые слова:* железная дорога, рельсовый путь, эксплуатационные риски, отказы рельсовых клеммно-болтовых креплений, метод оценки.

**П**роблемы безопасной эксплуатации и технического состояния путей предполагают самые разные формы участия инженерных служб. Одна из постоянных их забот – защита от нарастающих с течением времени изменений геометрии рельсовой колеи из-за ослабления или поломок промежуточных клеммно-болтовых креплений (КБ). Эта задача решается в соответствии с принципами, изложенными в «Концепции комплексного управления надёжностью, рисками, стоимостью жизненного цикла на железнодорожном транспорте» (УРРАН) [1]. Причем здесь важна прежде всего профилактика, своевременное предупреждение о грозящей опасности на участке пути, где возникла или может возникнуть угроза для движения поездов.

Когда речь идет об изменениях геометрии рельсовой колеи из-за дефектов промежуточных КБ-креплений, исходными данными для оценки вероятности отказов элементов пути становится прежде всего такой параметр, как отжатие головки рельса, характеризую-



**Рис. 1. Силы воздействия  $P_1$  и  $P_2$  в зоне клеммно-болтового скрепления с рельсом Р65:**  
1. Рельс Р65. 2. Прокладка под рельс. 3. Клемма. 4. Шпала железобетонная. 5. Подкладка. 6. Прокладка под подкладку.

ший разницу между размером колеи под поездной нагрузкой и без нее. Параметр отжатия может быть получен автоматизированными диагностическими средствами КВЛ-П, АД-КИ «ЭРА» и др., но нужны еще и методически четкие оценочные действия, расчётные схемы для выявления участков пути, рекомендуемых к дотяжке или замене промежуточных рельсовых скреплений типа КБ.

Целью расчёта на первом этапе является определение угла поворота короткого рельса в скреплении КБ при воздействии на него поперечной и вертикальной сил подвижного состава (рис. 1).

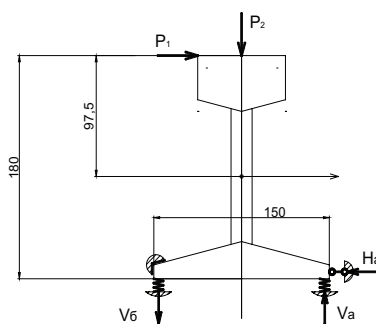
Скрепление КБ принадлежит к разряду жестких, и поворот рельса осуществляется за счёт деформации подрельсовой резиновой прокладки 2, характеристика которой соответствует ГОСТ Р 56291–2014 [2].

Относительная деформация прокладки под действием поездной нагрузки, равной 23 т на ось, после 10-кратного статистического сжатия  $\Delta$  не превышает 30%. Принимаем податливость прокладки под действием поездной нагрузки  $\Delta = 1/20 = 0,2$  (мм/т).

Для определения угла поворота рельса приводим упрощенную модель расчёта, которая позволяет оценить предельные границы перемещения стальной нити.

В расчёте принимаются следующие допущения:

- деформация нащпальной прокладки (п. 6 рис. 1) считается незначительной и потому не учитывается;
- используется кусок рельса Р65 длиной 50 см, установленный с помощью скрепления КБ на железобетонной шпале;



**Рис. 2. Расчётная модель:**  
 $P_1 = 5,22$  т – горизонтальная сила;  $P_2 = 10,25$  т – вертикальная сила;  $H_a$  – горизонтальная реакция;  $V_a$  – вертикальная реакция в точке «а»;  $V_6$  – вертикальная реакция в точке «б».

• нагрузки отвечают ГОСТ 32698–2014 (Скрепление рельсовое промежуточное железнодорожного пути. Требования безопасности и методы контроля) и равны  $P_1 = 5,22$  т и  $P_2 = 10,25$  т.

На рис. 2 приведена модель расчёта, на основе которой определялись реакции и перемещения рельса.

Из условия равновесия  $\sum M_a = 0$ ;  $\sum M_6 = 0$ ;  $\sum F_x = 0$  получаем:

$$\begin{aligned} P_1 \cdot 180 + P_2 \cdot 75 - V_a \cdot 150 &= 0; \\ P_1 \cdot 180 - P_2 \cdot 75 - V_6 \cdot 150 &= 0; \\ P_1 - H_a &= 0. \end{aligned}$$

Отсюда  $H_a = 5,22$  т;  $V_a = 11,39$  т;  $V_6 = 1,15$  т.

При воздействии указанных сил пружина (б) не удлиняется по условиям конструкции опоры, а пружина (а) сжимается с податливостью  $\delta = 0,2$  (мм/т).

В этом случае рельс повернется вокруг опоры (б) на угол  $\phi_6$  и пружина в опоре (а) сожмется на величину  $\Delta_a = \delta \cdot V_a = 0,2 \cdot 11,39 = 2,27$  (мм).

Соответственно угол поворота будет:

$$\phi_a = \Delta_a / 150 = \Delta_r / H_p,$$

где  $H_p = 180$  мм – высота рельса Р65.

Поскольку отжатие рельса  $\Delta_r$  определяется по перемещению внутренней поверхности головки рельса, то

$$\Delta_r = \Delta_a \cdot 180 / 150 = 2,27 \cdot 1,2 = 2,7 \text{ (мм)} \approx 3 \text{ (мм)}.$$

Из приведенного расчёта следует, что поворот рельса Р65 под действием приложенных сил в скреплении КБ происходит за счёт деформации подрельсовой прокладки, при этом смещение (отжатие) головки рельса не превышает 3 мм.



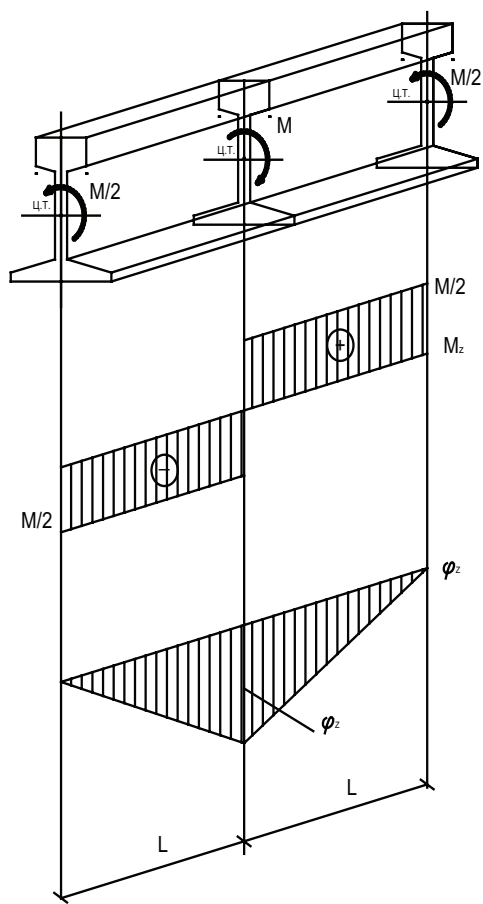


Рис. 3. Расчётная схема для оценки поворота рельса с одним неработающим креплением.

Есть основание считать:

- На месте крепления КБ с нормативным затянутым моментом гаек клеммных болтов отжатие рельса имеет предел  $\Delta_r \approx 3$  (мм).
- При отжатии рельса с  $\Delta_r > 3$  (мм) можно утверждать, что в промежуточном креплении клеммные болты недостаточно затянуты или оно сломано.
- Появляется возможность по величине отжатия рельса оценить состояние креплений КБ.

\*\*\*

Однако для количественной оценки неработающих креплений необходимо установить зависимость между величиной отжатия рельса и числом сломанных или плохо затянутых креплений по длине плети.

Для этого надо определить угол скручивания рельса при одном, трех, пяти и семи подряд неработающих креплениях от

вертикальных и горизонтальных сил, действующих на рельс.

На рис. 3 представлена расчётная схема для оценки поворота рельса с одним неработающим креплением. Для упрощения расчёта принимаем смежные со сломанным креплением как жесткие заделки. Тогда угол поворота в сечении со сломанным креплением будет равен:

$$\phi = M \cdot L / 2G \cdot I_{кр},$$

где  $M$  — момент кручения в сечении приложения горизонтальной силы (кг · см);

$L$  — расстояние между промежуточными опорами (см);

$G$  — жесткость рельса Р65 на кручение;

$I_{кр}$  — момент инерции рельса Р65 на кручение.

Величины  $G$  и  $I_{кр}$  взяты из ГОСТ Р 51685—2000\* [3].

Крутящий момент в заделке:

$$M = P_2 \cdot h_2 = 5,22 \cdot 10^3 \cdot 9,75 = 51 \cdot 10^3 \text{ (кг · см)}.$$

Определяем углы поворота в сечениях дефектных креплений.

- При одном сломанном креплении:

$$L = 50 \text{ см};$$

$$\phi_1 = 51 \cdot 10^3 \cdot 50 / 2 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 288 = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ (рад)}.$$

- При трех сломанных креплениях:

$$L = 100 \text{ см};$$

$$\phi_3 = 51 \cdot 10^3 \cdot 100 / 2 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 288 = 11 \cdot 10^{-3} \text{ (рад)}.$$

- При пяти сломанных креплениях:

$$L = 150 \text{ см};$$

$$\phi_5 = 51 \cdot 10^3 \cdot 150 / 2 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 288 = 16,6 \cdot 10^{-3} \text{ (рад)}.$$

- При семи сломанных креплениях:

$$L = 200 \text{ см}.$$

$$\phi_z = 51 \cdot 10^3 \cdot 200 / 2 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 288 = 22 \cdot 10^{-3} \text{ (рад)}.$$

Соответственно горизонтальные перемещения головки рельса будут составлять:

$$\Delta_r = h \cdot \phi_z.$$

Определяем горизонтальные перемещения головок рельса на местах дефектных креплений.

- При одном сломанном креплении:

$$L = 50 \text{ см};$$

$$\Delta_r = 180 \cdot 5,5 \cdot 10^{-3} = 1 \text{ (мм)}.$$

- При трех сломанных креплениях:

$$L = 100 \text{ см};$$

$$\Delta_r = 180 \cdot 11 \cdot 10^{-3} = 2 \text{ (мм)}.$$

- При пяти сломанных креплениях:

$$L = 150 \text{ см};$$

Таблица 1

## Углы поворота и горизонтальные перемещения головок рельсовой плети

| № | Число негодных<br>Скреплений,<br>шт. | Расстояние от дей-<br>ствующей силы до<br>заделки,<br>L, см | Угол поворота рельса,<br>$\phi_z$ , рад. | Смещение головки<br>рельса, $\Delta_r$ , мм |
|---|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1 | 1                                    | 50                                                          | $5,5 \cdot 10^{-3}$                      | 1,41                                        |
| 2 | 3                                    | 100                                                         | $11,0 \cdot 10^{-3}$                     | 2,41                                        |
| 3 | 5                                    | 150                                                         | $16,6 \cdot 10^{-3}$                     | 3,41                                        |
| 4 | 7                                    | 200                                                         | $22,0 \cdot 10^{-3}$                     | 4,41                                        |

$$\Delta_r = 180 \cdot 16,6 \cdot 10^{-3} = 3,00 \text{ (мм)}.$$

- При семи сломанных скреплениях:

$$L = 200 \text{ см};$$

$$\Delta_r = 180 \cdot 22 \cdot 10^{-3} = 4 \text{ (мм)}.$$

Полученные результаты представляют минимальные значения углов поворота и горизонтальных перемещений рельса Р65, так как заделки рельса считались абсолютно жесткими.

В действительности рельс в заделке поворачивается за счёт деформации прокладок. Поэтому далее, учитывая деформации прокладок, определяем поворот рельса как в упругих заделках.

На рис. 4 представлена расчётная схема для определения величины деформации рельса в заделке.

Определяем усилие в заделке из уравнения

$$V_a \cdot b = M / 2;$$

$$V_a = M / 2 \cdot b = 51 \cdot 10^3 / 2 \cdot 15 = 1,7 \cdot 10^3 \text{ (кг)} - \text{усилие, действующее на пружины.}$$

Перемещение пружины от действия на нее силы Р:

$$\Delta_a = \delta \cdot V_a = 0,2 \cdot 1,7 = 0,34 \text{ (мм)}.$$

Угол поворота рельса:

$$\phi_z = \Delta_a / b = 0,34 / 150 = 0,0023 \text{ (рад)} = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ (рад)}.$$

Перемещение головки рельса:

$$\Delta_r = \Delta_a \cdot 180 / 150 = 0,34 \cdot 1,2 = 0,41 \text{ (мм)}.$$

Углы поворота и горизонтальные перемещения головок рельсовой плети в зависимости от количества негодных скреплений приведены в таблице 1.

На основании приведенного расчёта выявлено:

- При нормативной эксплуатации участка пути определить отказ промежуточных рельсовых скреплений типа КБ

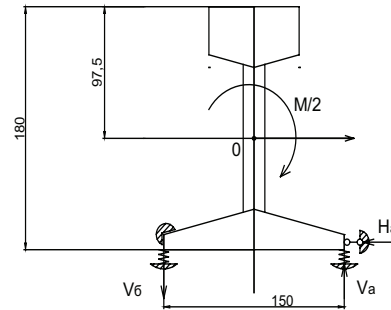


Рис. 4. Расчётная схема для определения величины деформации рельса в заделке.

в количестве 1–2 шт. на основе смещения головки рельса под нагрузкой (параметр отжатия) затруднительно, так как оно весьма мало и составляет всего 1,41 мм.

- Для использования в качестве критерия предельного значения смещения головки рельса необходимо, чтобы отказ произошел не менее чем на трех промежуточных рельсовых скреплениях типа КБ, при этом горизонтальная величина смещения головки превысит 2,41 мм.

- Метод предельных значений, основанный на смещении головки рельса, применим при диагностике пути и при назначении планово-предупредительного ремонта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция «Комплексного управления надёжностью, рисками, стоимостью жизненного цикла на железнодорожном транспорте» (УРРАН). [Электронный ресурс]: <http://oac.rgotups.ru/misc/files/39.4.3.pdf>. Доступ 12.01.2016.

2. ГОСТ Р 56291–2014. Прокладки рельсовых скреплений железнодорожного пути. Технические условия.

3. ГОСТ Р 51685–2000\*. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия.

Координаты авторов: **Лысенко Н. Н.** – [lysenko-pph@rambler.ru](mailto:lysenko-pph@rambler.ru), **Мелешонков Е. И.** – (495) 684–2174, **Державин А. Н.** – (499) 972–1496.

Статья поступила в редакцию 12.01.2016, принята к публикации 26.04.2016.

