

УДК 625. 14

Жолдас Балмира Даулетханкызы – магистрант (г. Алматы, Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М.Тынышбаева)

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ И КРИТИЧЕСКИХ СИЛ

При повышении температуры рельсовой плети в ее средней неподвижной части возникают значительные продольные температурные силы сжатия и нарастает запас потенциальной энергии. Наступает критический момент, когда рельсо-шпальная решетка оказывается неустойчивой, следствием чего может быть выброс пути в сторону или вверх. Это сопровождается освобождением части потенциальной энергии[1].

Учеными предложен ряд различных способов расчета критической силы для бесстыкового пути.

В основе этих способов расчета положен учет накапливающейся в пути потенциальной энергии по мере увеличения сжимающей температурной силы и определение такой величины, при которой рельсо-шпальная решетка становится неустойчивой, происходит выброс ее с соответствующими деформациями элементов пути. В результате выброса искривленная рельсо-шпальная решетка занимает положение, соответствующее равновесию между силами сопротивления ее дальнейшему искривлению и уменьшившейся в результате деформаций продольной температурной силой сжатия рельсовых плетей[1].

При каждом из этих способов расчета вводятся те или иные допущения, отличающиеся от действительного положения, но дающие возможность применить тот или иной математический аппарат, чтобы получить результат с достаточной для практических целей точностью.

Для сравнительных и экспертных оценок устойчивости бесстыкового пути долгое время пользовались для расчетов критической силы формулами приближенного решения задачи, предложенными К.Н. Мищенко.

Расчетные формулы им выведены из условий равенства суммы работ при деформации выброса рельсо-шпальной решетки и потенциальной энергии деформации системы, экстремальное значение которой соответствует условиям равновесия.

Силы сжатия рельсовых плетей P при этом является функцией от стрелы искривления $f_{и}$. Профессор К.Н. Мищенко в результате исследования этой функции удалось получить зависимости, которые дают значения силы P , длины искривления рельсо-шпальной решетки $l_{и}$ и стрелы искривления $f_{и}$. минимальным значением этой величины P является критическая сила P_k . Основные формулы К.Н. Мищенко для расчета критической силы имеют следующий вид[2]:

$$P_k = \frac{\eta_1}{\sqrt[4]{n}} \sqrt{I\omega'' q^2 E^2} \quad 1.1$$

$$l_m = \eta_2 \sqrt{\frac{EI}{P}} \quad 1.2$$

Здесь коэффициенты η_1 и η_2 – постоянные величины, зависящие от формы искривления пути при выбросе;

ω'' – площадь сечения двух рельсов;

q – сопротивление рельсо-шпальной решетки ее поперечному смещению в кГ/см, полученные без учета воздействия поездов;

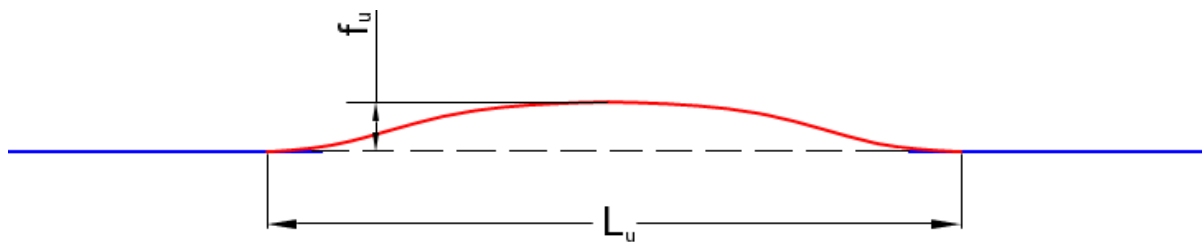


Рисунок 1– Искривленная ось пути при температурном выбросе.

I – момент инерции рельсо-шпальной решетки; $I = 2\beta I_y$, где β – коэффициент, учитывающий жесткость рельсо-шпальной решетки в горизонтальной плоскости.

При одностороннем искривлении, что происходит при горизонтальном выбросе в кривых $\eta_1 = 2,68$; $\eta_2 = 13,92$.

При двухволновом S– образном искривлении, которое возникает обычно при выбросе на прямых в горизонтальной плоскости, $\eta_1 = 2,416$ и $\eta_2 = 19,18$. [2]

В формуле (1.1) через n обозначен поправочный коэффициент, которым учитывается действие продольных сил на прямолинейных участках, прилегающих к искривленной части; величина этого коэффициента определяется по формуле:

$$n = 1 + \frac{P}{4pl_u} \quad 1.3$$

где p – погонное сопротивление продольному сдвигу рельсо-шпальной решетки.

При определении критической силы P_k по формулам К.Н. Мищенко приходится прибегать к методу пробных подстановок, чтобы последовательно приблизиться к решению, удовлетворяющему зависимости по формуле (1.1). При этом начинают с подстановки в формулу (1.2) ориентировочной величины P . Определив таким образом l_n , подставляют его и принятую ориентировочную величину P в формулу (1.3).

Затем по формуле (1.1) определяют величину P_k и сопоставляют эту величину с принятым сначала ориентировочным значением силы P ; если разница не превышает 2 %, то расчет считают законченным; если разница более 2%, то принимают другое ориентировочное значение силы P и повторяют расчет до тех пор, пока разница между полученным и исходным значением силы P не станет равной 2% или менее.

На основании исследований при расчетах пути можно принимать следующие величины коэффициентов β : при отдельных креплениях типа К и деревянных шпалах – 2,25; железобетонных шпалах – 2,50; костыльных креплениях и деревянных шпалах – 1,0.

С.П. Першиным разработан более совершенный метод нахождения продольной критической силы [3].

Особенностями этого метода, при котором путь рассматривается тоже как сжатый стержень, являются:

учет наличия местной начальной неровности со стрелой f_0 при определении полной работы продольных сил на концах искривления;

раздельный учет жесткости двух рельсов $I = 2I_y$ и влияния противодействия повороту рельсов относительно шпал со стороны узлов рельсо-шпальной решетки (промежуточных креплений) при определении работы $A_{изг}$.

Величина реактивного момента от сопротивления креплений повороту рельсов относительно шпал $M_{кр}$ при этом выражается следующей степенной функцией в зависимости от угла поворота φ :

$$M_{кр} = m_c \phi^{k_c} \quad 1.4$$

Погонное сопротивление поперечному сдвигу пути в балласте q принято переменным, зависящим от величины самого сдвига u и не зависящим от вибрационного воздействия поездов.

$$q = \frac{C_c}{l} u^n \quad 1.5$$

В формулах (1.4. и (1.5.) C_c и n – параметры, характеризующие сопротивление балластной призмы поперечному смещению решетки; значения этих параметров приводятся в таблице 1.1.

Таблица 1.1.– Элементы верхнего строения пути

Шпалы	Состояние балласта	Значение коэффициентов	
		n	C_c
Деревянные	Укатанный	1/6	310-520
Железобетонные	Укатанный	1/6	380-560
Железобетонные	свеженасыпанный	1/4	220
Деревянные и железобетонные	Трение между подошвой шпалы и основанием отсутствует	1/3	100

m_c и k_c – параметры, характеризующие конструкцию промежуточных креплений и материал шпал; величину параметра m_c можно принимать от 13200 до 26100 кГ/см в зависимости от затяжки клемм (от 11 до 33 кГм).

Величина параметра k_c колеблется обычно в пределах 1/4 - 1/8; для клеммных креплений можно принимать $k_c = 1/8$.

Уравнение равновесия для общего случая одноволнового искривления пути в исследованиях С.П. Першина получено в следующем виде:

$$P = [48.446 \frac{EI f_u}{l_u^2} + 0.078 l_u^2 \varepsilon_1 \frac{C_c}{l} f_u^n + \frac{2m_c}{l} \varepsilon_2 l_u \left[\frac{f_u}{l_u} \right]] * \frac{1}{f_u + 0.078 \frac{l_u^2}{R}} \quad 1.6$$

Здесь первое слагаемое в квадратных скобках отражает противодействие изгибу со стороны рельсов, второе слагаемое - со стороны балласта и третье – со стороны промежуточных креплений.

P – продольная сжимающая сила в кГ;

EI – жесткость двух рельсов при изгибе в горизонтальной плоскости в кГ/см²;

R – радиус кривой в см; $0,078 (l_u^2/R) = 0$;

l – расстояние между осями шпал в см;

m_c и k_c – параметры, характеризующие конструкцию промежуточных креплений и материал шпал. Величина их имеет те же значения, что и в формуле (1.4).

ξ_1 и ξ_2 – эмпирические коэффициенты, зависящие от показателей степени n и k_c ; для одноволнового искривления величины их можно принимать по таблице (1.2.)

Таблица.1.2 Эмпирические коэффициенты

Коэффициенты	Показатели степени n или k _c				
	1/2	1/3	1/4	1/6	1/8
ξ ₁	0,838	0,885	0,907	0,936	0,953
ξ ₂	0,594	0,505	0,463	0,432	0,413

f_0 – стрела начального искривления в см, характеризующая состояние пути; этот параметр может быть выражен так же через средний уклон i_0 начальной неровности $f_0 = (i_0 * l_n) / 2$.

l_n – длина искривления в см;

f_n – стрела прогиба в см, возникающего под воздействием сжимающей силы на длине начального искривления.

Из рассмотрения формулы (1.6.) видно, что все входящие в нее величины являются для заданной конструкции пути постоянными, кроме длины l_n и стрелы f_n искривления. Таким образом, продольная сила P является функцией двух переменных l_n и f_n .

Для каждого определенного значения l_n имеется соответствующая величина прогиба f_n , при которой сила P будет наибольшей. Критическая сила P_k будет, очевидно, минимальной из этих наибольших значений [3].

Эти соображения и анализ свыше 140 расчетов критической силы при различных вариантах исходных данных дали возможность С.П. Першину упростить расчет критической силы сведением его к следующей основной формуле:

$$P_0 = \frac{A}{i_0^\alpha} K_1 K_2 K_3 K_4 \quad 1.7$$

Здесь P_0 – наименьшая сжимающая сила, вызывающая нарушение устойчивости;

i_0 – средний уклон начальной неровности в тысячных; расчетное значение i_0 для прямых 2‰, для кривых 2,5 – 3,0 ‰;

A и α – параметры, зависящие от типа рельсов и плана линии, вытекающие из формулы (1.7.); значения этих параметров приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Параметры, зависящие от типа рельсов и плана линии

Радиус кривой в м	Тип рельсов			
	P50		P65	
	A	α	A	α
400	238	0,300	248	0,232
600	295	0,365	315	0,335
800	332	0,410	361	0,385
1000	360	0,450	383	0,410
Прямая	517	0,600	583	0,585

K_1 — коэффициент, учитывающий форму начальной неровности; для одноволновой изолированной неровности $K_1= 1$, для отдельной одноволновой неровности, выделенной из серии неровностей на пути, $K_1= 1,1$ [3];

K_2 — коэффициент, учитывающий состояние балласта, определяемый величиной параметра C_c , равный при : $C_c= 0-0,28$; $C_c= 225-0,71$; $C_c= 450-1,00$; $C_c= 600-1,17$.

K_3 — коэффициент, учитывающий влияние эпюры шпал, равный: при эпюре 1600 шт/км-0,91; 1840 шт/км-1,00; 2000 шт/км-1,17.

K_4 — коэффициент, учитывающий степень затяжки гаек клеммных болтов промежуточных скреплений типа К:

$$K_4 = \beta_i \left[\frac{m_1}{20000} \left(\frac{1}{\beta_i} - 1 \right) + 1 \right] \quad 1.8$$

Значение m_c указано выше; расчетный параметр β_1 равен : при $i_0= 2\%-0,795$; $i_0= 3\%-0,820$; $i_0= 4\%-0,840$.

Полученную по формуле (1.7.) величину наименьшей сжимающей силы, которая может вызвать потерю устойчивости пути, вводят в расчет с учетом коэффициента запаса, равного 1,5.

Итак, критическая сила:

$$P_k = P_0/1,5. \quad 1.9$$

Вывод. В рассмотренных аналитических методах определения устойчивости (К.Н. Мищенко и С.П. Першина) в основу положена расчетная схема статического равновесия рельсо-шпальной решетки под действием продольных температурных сжимающих сил и сил, сопротивляющихся ее сдвигу [2-3].

Исходным моментом в расчетах критических сил является условие удержания равновесия бесстыкового пути продольными силами в рельсовых плетях в состоянии завершения выброса, и поэтому сжимающая сила в рельсовых плетях считается пассивным фактором, «который может лишь удерживать равновесие искривленного пути, но не способен самостоятельно вызвать его». Поэтому в теории «критических сил» не могут быть учтены ослабляющие устойчивость факторы, такие как:

- ослабление сопротивления поперечному сдвигу в местах не подбитых шпал;
- дополнительные к температурным сжимающие силы в рельсовых плетях и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчеты и проектирование железнодорожного пути: учебное пособие для студентов вузов ж.-д. трансп./ В.В. Виноградов, А.М. Никонов, Т.Г. Яковлева и др.; Под ред. В.В. Виноградова и А.М. Никонова. - М.: Маршрут, 2003. Стр.245.
2. Мищенко, К. Н. Основы расчета бесстыкового пути и длинных рельсов / К. Н. Мищенко // Труды МИИТа. – 1937. – Вып. 58. Стр. 203.
3. Першин, С. П. Методы расчета устойчивости бесстыкового пути / С. П. Першин // Путь путевое хозяйство : труды / ред. Г. М. Шахунянц : МИИТ. – М., 1962. – Вып. 147. Стр. 198.