

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 625.143.482

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ,
ДЕЙСТВУЮЩИХ НА РЕЛЬСОВЫЕ ПЛЕТИ
В КРИВЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ

С. И. МОРОЗОВ

Архангельский лесотехнический институт

При транспортировке длинных сварных рельсовых плетей от места сварки до места укладки во время прохождения поездом кривых участков пути в результате изгиба плетей возникают действующие на них поперечные силы. Они могут привести к нарушению условий безопасного движения поездов, вызвать опрокидывание сцелов или сход колес подвижного состава с рельсов. Необходимо поэтому оценить значение этих сил и их воздействие на платформы и на путь.

В работе [2] показано, что для определения поперечных сил при изгибе рельсовой плети по круговой кривой допустимо использовать линейное дифференциальное уравнение вида

$$EIy'' = M, \tag{1}$$

где EI — жесткость поперечного сечения рельса при изгибе в горизонтальной плоскости;

M — изгибающий момент в произвольном сечении плети.

Расчетная схема приведена на рис. 1. Решая дифференциальное уравнение (1) при произвольном числе точек закрепления по методике, изложенной в работе [1], получим следующее уравнение прогибов:

$$y = \frac{x_0^3}{6EI} \{H_0(3u - u^3) + H_1[(u - u_1)^3 - 3(1 - u_1)^2 u] + \dots + H_n[(u - u_n)^3 - 3(1 - u_n)^2 u]\}, \tag{2}$$

где y — прогиб произвольного сечения плети;
 x_0 — половина длины плети;
 $u = x/x_0$ — безразмерная абсцисса сечения с координатой x ;
 u_1, u_2, \dots, u_n — безразмерная абсцисса точек закрепления плети,
 $u_1 = x_1/x_0; u_2 = x_2/x_0; \dots; u_n = x_n/x_0$.

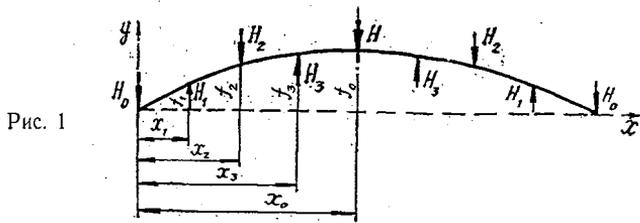


Рис. 1

При записи уравнения прогибов для конкретной расчетной схемы число n членов уравнения (2) зависит от числа N точек закрепления и определяется по формуле

$$n = (N - 1)/2,$$

а при вычислении коэффициентов при силах разности $u - u_i$, для которых $u < u_i$ (где $i = 1, 2, \dots, n$), надо принять равным нулю.

Например, для трех точек закрепления имеем $N = 3$, $n = 1$, $u_1 = 1$, значит, оставляем одно слагаемое, содержащее силу H_0 :

$$y = \frac{x_0^3}{6EI} H_0 (3u - u^3).$$

Для пяти точек закрепления имеем $N = 5$, $n = 2$, $u_1 = 0,5$, $u_2 = 1$, значит, оставляем два слагаемых, содержащих силы H_0 и H_1 , причем на первом участке $0 \leq u \leq u_1$

$$y = \frac{x_0^3}{6EI} [H_0 (3u - u^3) - 0,75H_1 u];$$

на втором участке

$$y = \frac{x_0^3}{6EI} \{H_0 (3u - u^3) + H_1 [(u - u_1)^3 - 0,75u]\}$$

и т. д.

Точки закрепления плети на кониках подвижного состава должны лежать на круговой кривой радиуса ρ , поэтому для определения сил H_i в этих точках ординаты прогибов приравняем ординатам круговой кривой $y_\rho = f$. Значение f можно найти по приближенному выражению

$$y_\rho = f = \frac{x_0}{\rho} x - \frac{x^2}{2\rho} = \frac{x_0^2}{2\rho} (2u - u^2). \quad (3)$$

Расчетное уравнение имеет вид

$$H_0 (3u - u^3) + H_1 [(u - u_1)^3 - 3(1 - u_1)^2 u] + \dots + H_n [(u - u_n)^3 - 3(1 - u_n)^2 u] = \frac{3EI}{x_0 \rho} (2u - u^2). \quad (4)$$

При записи уравнений для конкретного случая следует учитывать замечание, высказанное выше по поводу применения уравнения (2).

Например, для трех точек закрепления ($n = 1$, $u_1 = 1$) имеем

$$2H_0 = \frac{3EI}{x_0 \rho},$$

отсюда

$$H_0 = 1,5 \frac{EI}{x_0 \rho}; \quad H = 2H_0 = 3 \frac{EI}{x_0 \rho}.$$

Для пяти точек закрепления ($n = 2$, $u = u_1 = 0,5$, $u = u_2 = 1$) имеем систему

$$11H_0 - 3H_1 = 18 \frac{EI}{x_0 \rho};$$

$$16H_0 - 5H_1 = 24 \frac{EI}{x_0 \rho},$$

отсюда

$$H_0 = \frac{18}{7} \frac{EI}{x_0 \rho}; \quad H_1 = -\frac{24}{7} \frac{EI}{x_0 \rho}; \quad H = \frac{12}{7} \frac{EI}{x_0 \rho}.$$

Аналогично с помощью уравнения (4) можно составить системы уравнений при любом числе точек закрепления. Решение этих систем уравнений позволяет определить значения соответствующих сил H_i .

Выражения для определения H_i можно представить в виде

$$H_i = K_i \frac{EI}{x_{0P}}, \quad (5)$$

где K_i зависит от числа точек закрепления и номера силы.

Значения этого коэффициента для ряда случаев приведены в табл. 1.

Таблица 1

Число точек закрепления	Расчетная длина плиты, м	Значения коэффициента K_i для сил									
		H_0	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	H_8	H
3	20	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—3
5	40	2,57	-3,43	—	—	—	—	—	—	—	1,74
7	60	3,81	-4,85	1,38	—	—	—	—	—	—	-0,68
9	80	5,07	-6,43	1,73	-0,49	—	—	—	—	—	0,24
11	100	6,34	-8,04	2,15	-0,58	0,17	—	—	—	—	-0,08
13	120	7,61	-9,65	2,59	-0,69	0,19	-0,053	—	—	—	0,006
15	140	8,87	-11,25	2,99	-0,72	0,011	-0,22	0,029	—	—	-0,495
17	160	10,15	-12,79	3,35	-0,93	0,033	-0,10	0,018	-0,031	—	0,6
19	180	11,41	-14,47	3,88	-1,04	0,28	-0,075	0,012	-0,054	0,0015	-0,012

Примечание. Знак плюс — сила направлена внутрь кривой; минус — наружу.

Так как сила H пропорциональна коэффициенту K_i , то при одинаковых условиях наибольшие поперечные силы действуют на первую и вторую платформу с обоих концов плиты. В средней части эти силы существенно меньше (кроме случая $N=3$, для которого максимальная сила действует на среднюю платформу). Графики изменения K_i по длине плиты приведены на рис. 2.

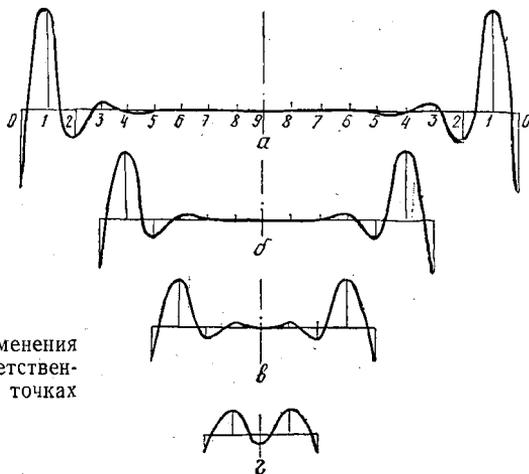


Рис. 2. Графики изменения K_i : а, б, в, г — соответственно при 19, 13, 9 и 5 точках закрепления

При определении условий безопасной транспортировки состава с плетями расчетными являются силы H_0 и H_1 . Соответствующие коэффициенты K_0 и K_1 изменяются, в зависимости от числа точек закрепления N , по линейному закону:

$$K_0 = -0,5871 + 0,6314N; \quad (6)$$

$$K_1 = 0,5128 - 0,7886N. \quad (7)$$

С помощью уравнений (6) и (7) можно найти значения K_0 и K_1 для любого (в том числе и четного) числа точек закрепления. Например, при $N = 4$ имеем $K_0 = 1,9385$, $K_1 = -2,6416$.

Расчетная длина l плети в зависимости от числа точек закрепления (числа платформ в составе) определяется по формуле

$$l = L(N - 1), \quad (8)$$

где L — габаритная длина платформы по буферам.

Полная длина плети $2x_0$ кратна 8 м, так как плеть формируется в результате сварки 8-метровых рельсов. Она равна или больше расчетной длины за счет консольных концов на крайних платформах, т. е.

$$2x_0 = l + a_1 + a_2 = 8m, \quad (9)$$

где a_1, a_2 — длина консолей;

m — число 8-метровых рельсов.

Вследствие оплавления концов рельсов при сварке фактическая длина плети меньше $2x_0$ на 10...12 см.

Как показывает уравнение (5), поперечная сила, помимо коэффициента K_i , зависит от жесткости поперечного сечения рельса на изгиб в горизонтальной плоскости, длины плети и радиуса кривой. Очевидно, при прочих равных условиях силы H_i имеют наибольшее значение на кривых малых радиусов. Результаты расчета для случая $\rho = 100$ м приведены в табл. 2.

Таблица 2

Число точек закрепления	Число платформ	Расчетная длина, x_0 , см	Полная длина плети, м	Значения H_i , Н для рельсов типа	
				Р24	Р33
3	3	1000	24	480,0	1254,0
5	5	2000	48	274,4	716,9
7	7	3000	64	267,0	697,7
9	9	4000	88	263,4	688,0
10	10	4500	96	262,1	684,8

Наибольшая поперечная сила действует на вторую (среднюю) платформу при перевозке плетей длиной 24 м (три точки закрепления). С увеличением числа точек закрепления (и, соответственно, длины плети) эти силы уменьшаются в 1,5 раза. Они составляют в среднем 270 Н при перевозке плетей из рельсов Р24 и 710 Н — для рельсов Р33.

Полная (суммарная) поперечная сила зависит от числа плетей на платформах. Так как на конике лесовозных платформ можно разместить до 9 плетей, то полная поперечная сила, действующая на вторую с края состава платформу, равна 2,43 кН для Р24 и 6,39 кН для Р33.

Приведенные результаты расчета являются приближенными. Это связано не только с тем, что использован приближенный метод решения, но также и с тем, что радиусы кривых на лесовозных УЖД не постоянны в пределах одной и той же кривой, а изменяются в довольно широком диапазоне. Так, по данным обследования кривых на Ньюбской УЖД, средняя квадратичная ошибка радиусов составляет до 20...25 % их среднего значения. Поэтому при оценке безопасности транспортировки состава с рельсовыми плетями расчетные значения поперечных сил надо увеличить в 1,25—1,30 раза.

Задача по устойчивости платформ против опрокидывания и по вероятности схода колес с рельсов требует проведения специального исследования и выходит за рамки настоящей статьи. Рассмотрим, в за-

ключение, две частные задачи, связанные с транспортировкой плетей на платформах.

Прогиб плетей. Рельсовая плеть расположена на кониках подвижного состава и является балкой на многих опорах. Так как коники находятся на значительном расстоянии друг от друга, то необходимо оценить значение максимального прогиба плети в середине пролета от действия собственного веса.

Применительно к расчетной схеме, приведенной на рис. 3, дифференциальное уравнение прогибов имеет вид

$$EIy'' = -\frac{qx^2}{2} + R_0(x-a) + R_1(x-a-l) + \dots + R_n(x-a-ml), \quad (10)$$

где l — расстояние между кониками;
 a — длина консоли (т. е. часть плети, расположенной за крайними кониками);
 R_0, \dots, R_n — реакции опор. На крайних опорах $R_0 = R_1 = q(l + 2a)/2$, на средних $R_1 = R_{n-1} = ql$;
 q — интенсивность распределения нагрузки (вес 1 см длины рельса).

Для определения прогибов проинтегрируем уравнение (10) по обычным правилам. Постоянные интегрирования получаем из равенства нулю прогибов на опорах. Затем находим стрелы прогибов в середине пролета. При $l = 10$ м и длине консоли, равной 0, 100, 200, 400 см, они составляют для Р24 соответственно 3,34; 3,18; 2,70; 0,77 см. Для Р33 прогибы примерно в 2 раза меньше.

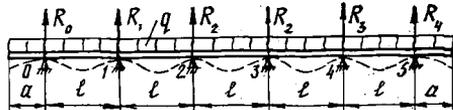


Рис. 3

Таким образом, прогибы рельсов в вертикальной плоскости сравнительно невелики и не угрожают безопасности движения поездов.

Смещение плети. Сечения плети на конике лежат на круговой кривой. Остальные сечения смещаются от оси кривой на некоторую величину Δy . Оценим величину этого смещения, так как при больших значениях оно может создать помехи транспортировке плетей.

В общем случае

$$\Delta y = y_p - y, \quad (11)$$

где y_p — ордината круговой кривой в данном сечении, определяемая по уравнению (3);

y — ордината кривой прогибов плети в этом же сечении, определяемая по уравнению (2).

Найдем значение Δy для частного случая: плеть длиной $l = 2x_0 = 60$ м при трех и семи точках закрепления.

Если $N = 3$, то уравнение (3) можно решить аналитически. Максимальное значение Δy находится в сечении $x = x_0/3$ и составляет [2]

$$\Delta y_{max} = x_0^2/27\rho.$$

На кривой радиусом 100 м и для $x_0 = 30$ м получим $\Delta y_{max} = 33,7$ см, что довольно существенно.

Если $N = 7$, по Δy проще определить численным методом. Расчетные выражения для ординаты y после преобразований имеют вид:

на участке $0 \leq u \leq \frac{1}{3}$

$$y = \frac{x_0^2}{6\rho} \left[K_0 (3u - u^3) + \frac{4}{3} K_1 u + \frac{1}{3} K_2 u \right];$$

на участке $\frac{1}{3} \leq u \leq \frac{2}{3}$

$$y = \frac{x_0^2}{6\rho} \left\{ K_0 (3u - u^3) + K_1 \left[\left(u - \frac{1}{3} \right)^3 - \frac{4}{3} u \right] + \frac{1}{3} K_2 u \right\};$$

на участке $\frac{2}{3} \leq u \leq 1$

$$y = \frac{x_0^2}{6\rho} \left\{ K_0 (3u - u^3) + K_1 \left[\left(u - \frac{1}{3} \right)^3 - \frac{4}{3} u \right] + K_2 \left[\left(u - \frac{2}{3} \right)^3 - \frac{1}{3} u \right] \right\}.$$

Результаты вычислений Δy для пяти равномерно расположенных сечений на каждом участке приведены в табл. 3.

Таблица 3

Участок плети	Значения Δy , см, для сечений					
	0	1	2	3	4	5
$0 \leq u \leq 1/3$	0	3,93	4,87	3,84	1,86	0
$1/3 \leq u \leq 2/3$	0	-1,12	-1,38	-1,11	-0,60	0
$2/3 \leq u \leq 1$	0	0,13	0,15	0,07	0,03	0

Эпюра Δy приведена на рис. 4. Она показывает, что смещения достигают максимального значения на участках, расположенных по концам плети. На следующих участках смещения значительно меньше.

Абсолютные значения Δy_{max} при $N=7$ (и при $N>7$) невелики, что не создает помех транспортировке плетей.



Рис. 4

Таким образом, материалы нашего исследования подтверждают принципиальную возможность транспортировки длинных сварных плетей на подвижном составе, эксплуатирующемся на лесовозных УЖД.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Микеладзе Ш. Е. Некоторые задачи строительной механики.— М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1948.— 267 с. [2] Морозов С. И. Методика определения сил, действующих на рельсовую плеть при транспортировке ее в кривых // Лесн. журн.— 1990.— № 2.— С. 33—38.— (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 10 ноября 1989 г.

УДК 630*36 : 621.936.6

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АКТИВНОГО БЛОКА МОТОПИЛ

Э. А. КЕЛЛЕР

Пермский политехнический институт

Один из наиболее сложных вопросов при решении задач снижения вибронгрузок, передаваемых активным блоком (двигателем и пильным аппаратом) на рукоятки мотопил, — определение результирующих сил и моментов, действующих на корпус двигателя. Это связано с тем, что комплекс силовых воздействий, генерируемых активным блоком, чрезвычайно широк. Он включает газовые и инерционные силы и моменты кривошипно-ползунного механизма, силы и моменты от динамической неуравновешенности муфты сцепления и маховика, от взаимодействия пильной цепи с древесиной, от выхлопа двигателя и т. д. Зная реальные параметры силового воздействия активного блока, можно построить корректную правую часть системы дифференциальных уравнений, описывающих пространственные колебания базовых узлов мотопилы [2, 3], и с помощью математического моделирования выбрать оптимальные параметры системы виброзащиты. Систему возмущающих сил и моментов, действующих на корпус двигателя, представим в виде трех проекций F_x, F_y, F_z главного вектора сил, приложенного в центре масс блока, и трех проекций M_x, M_y, M_z главного момента сил относительно оси, проходящей через центр масс. Для определения этих сил и моментов активный блок установим на платформу, связанную с неподвижным основанием упругими элементами 7—10 (см. рисунок). Под действием возмущающих сил и моментов платформа с активным блоком совершает пространственные колебания. В качестве обобщенных

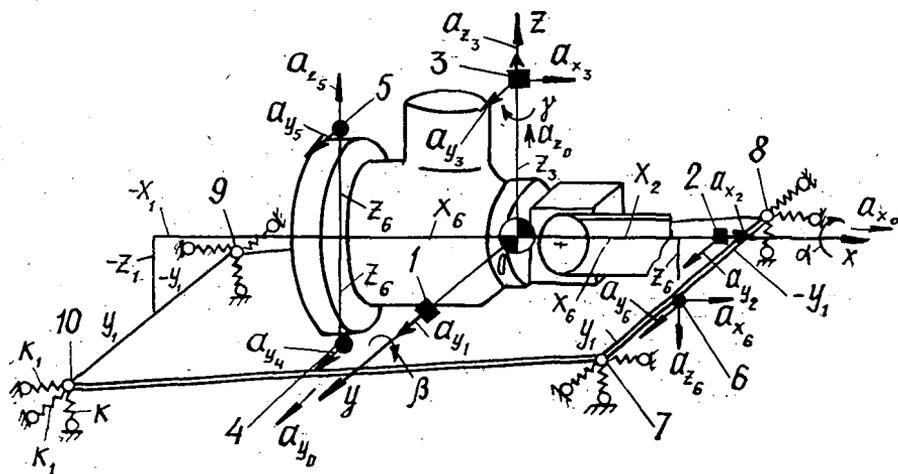


Схема расположения датчиков и упругих элементов подвески платформы