

РАСЧЕТ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ НА ПРОЧНОСТЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

В практике проектирования и строительства лесовозных дорог установлены определенные нормативы, которыми руководствуются при назначении типа рельсов, количества шпал на километр пути и прочих данных в зависимости от объема перевозок и принятого типа локомотива.

Однако в отдельных случаях приходится производить расчет с целью проверки работоспособности верхнего строения пути. Например, при получении новых типов локомотивов для использования на построенных путях, при повышении скорости движения, при применении балласта несоответствующего качества, при устройстве временных путей с пропуском по ним тяжелых составов.

В настоящее время в основу расчета верхнего строения узкоколейного пути на прочность положена модель коэффициента пастели, допускающая линейную зависимость между давлением на рельс, приложенным в какой-либо точке, и осадкой его в той же точке, т.е.

$$P = Uy.$$

При этом рельс рассматривается как балка бесконечной длины, лежащая на сплошном упругом основании. При этом способе расчета действительную конструкцию пути из рельсов, опирающихся на отдельные шпалы, представляют в виде условной балки с той же площадью опоры на сплошное упругое основание, что и действительный путь.

Изгибающий момент, поперечная сила в сечении балки, удаленной от начала координат на расстояние x , определяются по известным дифференциальным уравнениям из курса строительной механики:

$$M(x) = -EI \frac{d^2 y}{dx^2};$$

$$Q(x) = \frac{dM(x)}{dx} = -EI \frac{d^3 y}{dx^3},$$

где E - модуль упругости рельсовой стали, МПа; I - момент инерции рельсов, m^4 .

Решение данных уравнений не представляет особого труда. Однако определение напряжений, возникающих в рельсах, шпалах, балластной призме, земляном полотне под действием подвижного состава (статических и динамических сил) с учетом воздействия системы грузов, является очень трудоемким процессом, требующим значительных затрат времени.

Для облегчения расчетов и автоматизации вычислительных работ нами составлена программа "Путь" на алгебраическом языке "Аналитик", предназначенная для реализации на ЭВМ "Мир-2".

Программа "Путь"

Стандартная информатива. "ПУСТЬ" ПУТЬ. "РАЗР" R; "Ф"2;
 $U = (C_x A1_x L_x L) / (2_x L O); K = V (V / 4_x E_x J 1); J = 0;$
 Я1. J = J + 1; $M[J] = \sum (1=1, 4(1/EXP(K_x X [J, I])) \times$
 $x (\cos (K_x X [J, I]) - \sin (K_x X [J, I]))$; "E" J ≤ 3
 "ТО" ("НА" Я1); B1=1; M1=M [B1]; I=1; Я2.I = I + 1;
 "E" M [I] > M 1 "ТО" M1=M [1]; "E" 1 < 3 "ТО" ("НА" Я2);
 I=0; Я3. I = I + 1; "E" M1=M [I] "ТО" K2=1 "ИНА"
 ("НА" Я3); PP=0. 6_x J 2_x Ж_x Z; SP=0.17_x J 2_x Ж_x Z; SM =
 $= \sum (J=1, 4, (P/EXP(K_x X [K2, J])) \times (\cos (K_x X [K2, J]) -$
 $- \sin (K_x X [K2, J]))$; SN = $\sum (1=1, 4, (P/EXP(K_x X$
 $[K2, J])) \times (\cos (K_x X [K2, J]) + \sin (K_x X [K2, J]))$;
 B1 = A RCTG (A1/(H_x 2)); SC = ((1.28_x PP_x H 3)/(L O x
 $x (L O_x (L O 2 + H \uparrow 2) \uparrow 2)) \times \sum (I=1, 4, (I / EXP(K_x X [K2,$
 $J])) \times (\cos (K_x X [K2, J]) - \sin (K_x X [K2, J]))$); "ДЛЯ"
 I = 1 "Ш" 1 "ВЫП" (V=(1_x 10)/3.6; SH=0. 0371 x V x
 $x V (Q/K_x V)$); S = V (SP $\uparrow 2 + SH \uparrow 2$); PD = N1_x P + PP +
 $+ 2.5 \times S + SM$; CO = (PD_x PO)/(4_x W_x K); CK = CO_x F; Q1=
 $= ((K_x L O) / 2) \times (N 1_x P + PP + 2.5 \times S + SN)$; CШ = 0 1/W1;
 CB=01/П; Q2=((K_x L O)/2) x (N1_x P + PP + S_x 2.5); C1 =
 $= ((0.32 \times Q 2) / \pi) \times (B1 \times 2 + \sin (B1 \times 2))$; C3=C1+SC; y=
 $= (K / (2 \times V)) \times (N 1 \times P + PP + 2,5 \times S + SN)$; "ВЫВ"
 "ТАБЛ" 1, V, CO, CK, CШ, CB, C3, y) "КОН" \diamond

Рабочая информатива (для контрольного примера).
 "ПУСТЬ" P=0. 0,4; Q=0.01; Ж=0.00113; F=1.07; J =
 $= 0.468_{10}^{-5}$; W=0.872_{10}^{-4}; E=2. 2_{10}^5; B1=0.092; L = 1,5;
 A1=0.22; A2=0.14; П=0.165; Л=0.7; LO =0.63; W1=1.288_{10}^{-2};
 H=0.33; C=272; N=3; N1=1.1; Z=7; PO=1.1; J2=1; M [4];
 X [4,4] = 0,1.7,6.7,8.4,1.7,0.5,6.7, 6.7,6.7,5,0,1.7,8.4,6.7,
 1.7, 0 "КОН" \diamond

Директива. "ВЫП" R =6; "НА"ПУТЬ"КОН"◇

Условные обозначения, применяемые при составлении программы "ПУТЬ": P - полная статическая нагрузка от колеса на рельс, Мн; Q - неподрессоренный вес локомотива, Мн; Ж - жесткость рессоры, Мн/мм; F - коэффициент, учитывающий действие горизонтальных сил и эксцентриситет приложения вертикальных сил; J1 - момент инерции рельса, м⁴; W - момент сопротивления рельса, м³; E - модель упругости рельсовой стали, МПа; B1 - ширина подошвы рельса, м; L1 - длина шпалы, м; A1 - ширина нижней постели шпалы, м; A2 - ширина верхней постели шпалы, м; П - опорная площадь полушпалы, м²; Л - коэффициент изгиба шпалы; LO - расстояние между осями шпал, м; W1 - площадь опоры рельса на шпалу, м²; Н - толщина балластного слоя, м; С - коэффициент постели, Мн/м³; N1 - коэффициент перегрузки; Z - максимальная величина допустимого прогиба рессоры, мм; PO - коэффициент; J2 - коэффициент; X [4,4] - массив расстояний от расчетного сечения до сечения, в котором определяется изгибающий момент, м; V - скорость движения локомотива, м/с; CO - осевое напряжение в рельсах, МПа; СК - кромочное напряжение в рельсах, МПа; СШ - напряжение на смятие поверхности шпал, МПа; СБ - напряжение в балластном слое, МПа; СЗ - напряжение на основной площадке, МПа; У - упругий прогиб рельса, м.

Программа "Путь" решает задачу определения допустимых скоростей движения поездов и напряжений, возникающих в элементах верхнего строения пути при воздействии на путь определенного типа локомотива на прямом участке пути.

Расчет производится в автоматическом режиме, т.е. в память машины вводятся только исходные данные, определяющие конструкцию верхнего строения пути и тип применяемого локомотива без каких-либо предварительных или промежуточных ручных расчетов.

Для учета действия системы грузов и выбора расчетного сечения пути в память машины вводится следующий массив чисел:

$$\begin{array}{ccccccc} X [4,4] & = & 0, & a, & a+b & a + b + c; \\ & & & a, & 0, & b, & b + c; \\ & & & a + b, & b, & 0, & c; \\ & & & a + b + c, & b + c, & c, & 0, \end{array}$$

Таблица 1

V	CO	СК	СШ
.277777 _{10¹}	.154544 _{10³}	.165362 _{10³}	.241973 _{10¹}
.555555 _{10¹}	.157956 _{10³}	.169013 _{10³}	.251181 _{10¹}
.833333 _{10¹}	.161975 _{10³}	.173313 _{10³}	.262031 _{10¹}
.111111 _{10²}	.166221 _{10³}	.177857 _{10³}	.273487 _{10¹}
.138888 _{10²}	.170571 _{10³}	.182511 _{10³}	.285219 _{10¹}
.166666 _{10²}	.174970 _{10³}	.187218 _{10³}	.297094 _{10¹}
.194444 _{10²}	.179404 _{10³}	.191962 _{10³}	.309058 _{10¹}
.222222 _{10²}	.183859 _{10³}	.196729 _{10³}	.321077 _{10¹}
.250000 _{10²}	.188324 _{10³}	.201507 _{10³}	.333131 _{10¹}
.277770 _{10²}	.192801 _{10³}	.206297 _{10³}	.345208 _{10¹}

который определяет расстояния от расчетного сечения до сечения, в котором определяется изгибающий момент, поперечная сила и упругий пригиб (рис. 1).

В результате расчета по программе "Путь" вычисляются и выдаются на широкую печать в форме табл.1 следующие величины: скорость движения локомотива (в м/с) с интервалом 2,78 м/с; напряжения в элементах верхнего строения пути, МПа; упругий пригиб рельса, м.

В программе "Путь" для удобства расчета применен циклический оператор управления, не предусматривающий выход из

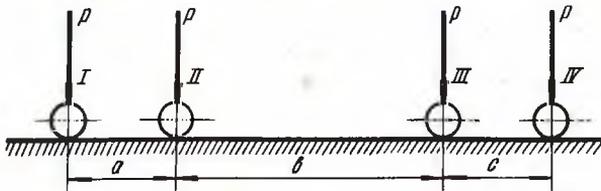


Рис. 1. Расчетная схема.

СБ	СЗ	У
.188886 _{10⁰}	.751622 _{10⁻¹}	.992040 _{10⁻³}
.196074 _{10⁰}	.780223 _{10⁻¹}	.102978 _{10⁻²}
.204543 _{10⁰}	.813926 _{10⁻¹}	.107426 _{10⁻²}
.213485 _{10⁰}	.849505 _{10⁻¹}	.112123 _{10⁻²}
.222643 _{10⁰}	.885952 _{10⁻¹}	.116933 _{10⁻²}
.231914 _{10⁰}	.922843 _{10⁻¹}	.121802 _{10⁻²}
.241252 _{10⁰}	.960000 _{10⁻¹}	.126707 _{10⁻²}
.250634 _{10⁰}	.997330 _{10⁻¹}	.131634 _{10⁻²}
.260044 _{10⁰}	.103478 _{10⁰}	.136576 _{10⁻²}
.269471 _{10⁰}	.107229 _{10⁰}	.141527 _{10⁻²}

цикла. При небольшом изменении программа "Путь" может быть использована для: определения конструкции верхнего строения пути и размеров ее отдельных деталей при заданном подвижном составе и скоростях движения; определения для существующей конструкции пути возможный к обращению тип подвижного состава и возможную скорость движения.

Применение данной программы "Путь" позволяет сократить время расчета узкоколейного железнодорожного пути на прочность до 5-6 мин.