

ном времени изменения цикла напряжений ресурс можно представить в мото-часах или километрах пробега.

Рассмотренная методика позволяет прогнозировать число замен поврежденных деталей, а также периодичность текущих ремонтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Броек Д. Основы механики разрушения / Пер. с англ.—М.: Высш. шк., 1980.—368 с. [2]. Ермаков С. М., Михайлов Г. А. Курс статистического моделирования.—М.: Наука, 1976.—320 с.

Поступила 25 мая 1994 г.

УДК[625.312 : 629.424.1].001.24

Р. Л. КОРОВКИН, В. В. КАЗАНЦЕВ

Коровкин Рафаил Лазаревич родился в 1937 г., окончил в 1965 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры сухопутного транспорта леса Архангельского государственного технического университета. Имеет 47 научных трудов в области сухопутного транспорта леса.



Казанцев Валерий Викторович родился в 1949 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры сухопутного транспорта леса Архангельского государственного технического университета. Имеет 18 научных трудов в области сухопутного транспорта леса.



**ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕПЛОВОЗА ТУ7  
НА ПЕРЕНОСНЫЕ КОНСТРУКЦИИ  
ЭЛЕМЕНТОВ ВРЕМЕННЫХ ПУТЕЙ**

Приведена методика расчета вертикального воздействия тепловоза на железнодорожный путь. В качестве исходной возмущающей функции использованы вертикальные неровности рельсовых нитей. Выполнены расчеты участка пути с инвентарными элементами и контрольного, дано сравнение результатов.

Calculation methods of diesel locomotive vertical influence on the railroad are presented. Vertical irregularities of the railroad have been used as an initial disturbing function. Calculations of the railroad section with inventory members and that of tested one are carried out and the results compared.

При изучении колебаний тепловоз заменяем эквивалентной колебательной системой. Такая система для тепловоза ТУ7 представлена на рис. 1. Здесь подрессоренная масса  $m_n$  и непрорессоренные массы  $m$  связаны упругими элементами с жесткостью  $C$  и амортизаторами с коэф-

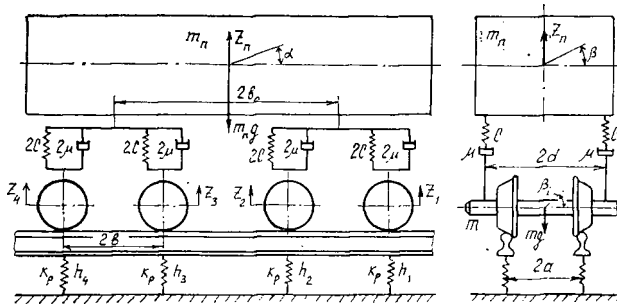


Рис. 1

фициентом сопротивления  $\mu$  (характеризующим гасящее устройство подвески). Связь неподрессоренных масс с рельсовым основанием заменим пружинами жесткостью  $K_p$ .

Число возможных перемещений кузова и колес тепловоза достаточно велико. Кузов, например, может совершать поступательные перемещения вдоль трех координатных осей и угловые перемещения вокруг них.

При изучении колебаний кузова в вертикальной продольной плоскости его движение будем характеризовать поступательным перемещением  $Z_n$  вдоль вертикальной оси (покачивание) и угловыми колебаниями вокруг поперечной оси (галопирование). Колебания кузова в поперечной плоскости характеризуем угловым перемещением  $\beta$  (пошатывание), которое влияет в основном на устойчивость тепловоза при действии боковых сил.

Тепловоз представляет собой многомассовую колебательную систему с одиннадцатью степенями свободы. Три из них обусловлены колебаниями кузова (покачивание, галопирование и пошатывание), восемь — колесных пар.

Выберем следующие обобщенные координаты, характеризующие положение поддрессоренных и неподрессоренных масс (рис. 1):  $Z_n$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $Z_1$ ,  $\beta_1$ ,  $Z_2$ ,  $\beta_2$ ,  $Z_3$ ,  $\beta_3$ ,  $Z_4$ ,  $\beta_4$  (здесь  $\beta$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_4$  — углы поворота кузова и осей колесных пар в поперечной плоскости;  $Z_n$ ,  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$ ,  $Z_4$  — вертикальные перемещения центров тяжести кузова и осей колесных пар;  $\alpha$  — угол поворота кузова в продольной плоскости).

В целях получения дифференциальных уравнений движения для исходной колебательной системы воспользуемся уравнением Лагранжа II рода [2]

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} - \frac{\partial R}{\partial q_i}, \quad (1)$$

где  $T$ ,  $\Pi$  — соответственно кинетическая и потенциальная энергия системы;

$R$  — диссипативная функция, характеризующая рассеивание энергии под действием сил сопротивления;

$q_i$  — обобщенная координата.

Кинетическая энергия системы является однородной квадратичной функцией обобщенных скоростей:

$$2T = m_n (\dot{Z}_n^2 + \rho_y^2 \dot{\alpha}^2 + \rho_x^2 \dot{\beta}^2) + m [\dot{Z}_1^2 + \dot{Z}_2^2 + \dot{Z}_3^2 + \dot{Z}_4^2 + \rho_{x1}^2 (\dot{\beta}_1^2 + \dot{\beta}_2^2 + \dot{\beta}_3^2 + \dot{\beta}_4^2)], \quad (2)$$

где  $\rho_{x1}, \rho_x$  — радиусы инерции массы колесной пары и подрессоренной части относительно продольной оси;  
 $\rho_y$  — радиус инерции массы подрессоренной части относительно поперечной оси.

Для потенциальной энергии имеем выражение

$$2\Pi = 2K_p (Z_{1л}^2 + Z_{1п}^2 + Z_{2л}^2 + Z_{2п}^2 + Z_{3л}^2 + Z_{3п}^2 + Z_{4л}^2 + Z_{4п}^2) + 2C (\epsilon_{1л}^2 + \epsilon_{1п}^2 + \epsilon_{2л}^2 + \epsilon_{2п}^2 + \epsilon_{3л}^2 + \epsilon_{3п}^2 + \epsilon_{4л}^2 + \epsilon_{4п}^2), \quad (3)$$

где  $z_j$  — прогибы рельсов;

$\epsilon_j$  — прогибы пружин, эквивалентных упругим элементам подвески, отсчитываемые от положения равновесия.

Диссипативная функция имеет вид

$$2R = 2C (\dot{\epsilon}_{1л}^2 + \dot{\epsilon}_{1п}^2 + \dot{\epsilon}_{2л}^2 + \dot{\epsilon}_{2п}^2 + \dot{\epsilon}_{3л}^2 + \dot{\epsilon}_{3п}^2 + \dot{\epsilon}_{4л}^2 + \dot{\epsilon}_{4п}^2), \quad (4)$$

где  $\dot{\epsilon}_{jл}, \dot{\epsilon}_{jп}$  — скорости перемещения прогибов пружин.

Подставляя  $T, \Pi$  и  $R$  в уравнение Лагранжа (1), получаем дифференциальные уравнения колебания тепловоза.

Динамические усилия, передаваемые от правого и левого колес на рельсы ( $S_{jп}, S_{jл}$ ), определяются по формулам [1]

$$\left. \begin{aligned} S_{jп} &= K_p (h_{jп} - Z_j - a\beta_j; \\ S_{jл} &= K_p (h_{jл} - Z_j + a\beta_j). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Здесь  $h_{jп}, h_{jл}$  — ординаты вертикальных неровностей рельсовых нитей под правым и левым колесами  $j$ -й колесной пары;

$a$  — половина расстояния между осями головок рельсов;

$\beta_j$  — угол боковой качки  $j$ -й колесной пары.

Остальные обозначения, приведенные на рис. 1:

$2b$  — база тележки;

$2b_0$  — расстояние между шкворнями тележек;

$2d$  — расстояние между рессорными комплектами.

Если старшие производные заменить вспомогательными неизвестными функциями, то система дифференциальных уравнений сведется к равносильной системе дифференциальных уравнений первого порядка. Эта замена позволяет применить вложенный метод Рунге — Кутты с использованием формул Дормана и Принса [3] и решить полученную систему уравнений на ЭЦВМ.

Программа интегрирования системы дифференциальных уравнений указанным методом составлена на языке Паскаль для ПЭВМ типа IBM PS/2. Шаг интегрирования выбирается автоматически в соответствии с заданной точностью расчета.

Предложенная методика была использована для расчета колебаний тепловоза и исследования инвентарной конструкции железнодорожного пути, разработанной на кафедре сухопутного транспорта леса АЛТИ. Эта конструкция представляет собой продольные лежни, скрепленные вместе с рельсами и брусковыми шпалами, и предназначена как временное сборное покрытие на слабых грунтах для усов лесовозных УЖД.

Опытные участки были заложены в 1990—1991 гг. на Конецгорской и Усть-Ваеньгской УЖД Архангельской области. Рядом были выделены контрольные участки уса (железнодорожные рельсы на круглых 3-метровых шпалах).

После года работы на участках нивелиром снимали геометрический микропрофиль через каждый 1 м пути по левой и правой рельсовым нитям. Результаты съемки подвергали обработке. Исключали низкочастотные составляющие, для чего методом наименьших квадратов находили коэффициенты линейного уравнения, среднее квадратичное отклонение, коэффициент корреляции и координаты неровностей для правой и левой рельсовых нитей. Вертикальные неровности в пределах двух экспериментальных значений определяли линейной интерполяцией.

В качестве примера на рис. 2 приведено графическое изображение ординат неровностей на опытном (а) и контрольном (б) участках левой нити.

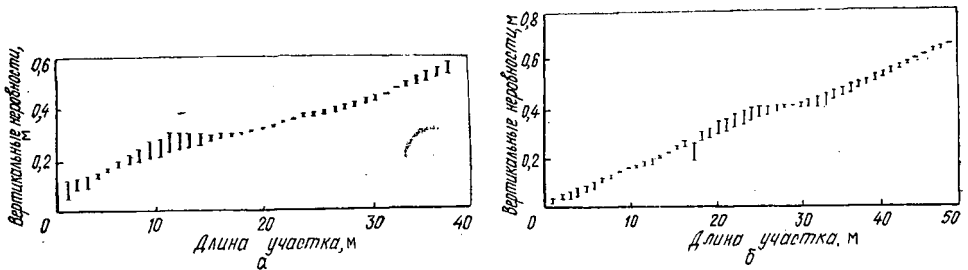


Рис. 2.

Все постоянные параметры системы взяты из паспорта или вычислены по рабочим чертежам тепловоза ТУ7.

Реализация программы дает возможность получить сведения о характере движения тепловоза при наличии случайных вертикальных неровностей.

Результаты расчета приведены на рис. 3, где показана зависимость динамических усилий  $P_3$  третьей по ходу движения оси тепловоза от скорости движения  $v$  для правой (а) и левой (б) нитей пути. Сплошные линии — результаты расчета для опытного участка, пунктирные — контрольного; 1 — среднее арифметическое значение; 2 — среднее квадратичное отклонение; 3, 4 — абсолютные максимум и минимум.

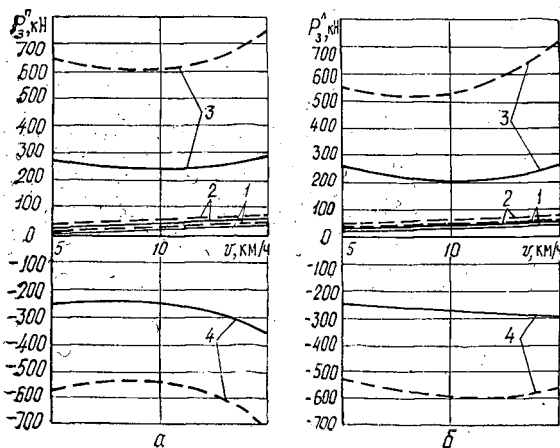


Рис. 3

Анализ графика показывает, что динамические усилия, как среднее арифметическое, так максимальное и минимальное, на контрольном участке в 2 раза выше, чем на опытном. Следовательно, инвентарные конструкции меньше подвергаются расстройству при эксплуатации и обеспечивают достаточную ровность пути.

С увеличением скорости движения динамические усилия тепловоза на участке пути обычной конструкции (шпалы длиной 2,5...3,0 м на дерновом покрове) резко возрастают. В результате даже при скорости 5 км/ч возникает опасность схода экипажа с рельсов. Рекомендуемая конструкция уса (опытный участок) обеспечивает относительную стабильность движения тепловоза при увеличении скоростей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Жабин В. И., Калинин Г. А., Шелкунов В. В. Воздействие лесовозного подвижного состава на железнодорожный путь.— Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1976.— 100 с. [2]. Роттенберг Р. В. Подвеска автомобиля и его колебания.— М.: Машгиз, 1960.— 354 с. [3]. Хайрер З. Э., Нерсетт С. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи.— М.: Мир, 1990.— 512 с.

---

Поступила 5 мая 1994 г.