

К Расчету Рельсовой Нити С Учетом Диссипации Внутренней Энергии И Внешнего Демпфирования

Е. В. Рожкова¹, С. Ш. Хожжахматов²

Аннотация: Одно из следствий научно-технического прогресса заключается в резком повышении требований к точности расчетов, что требует более полного учета всех физических особенностей рассматриваемых задач. Так, исследование колебательных процессов имеет большое значение для современной техники и в частности в актуальной проблеме взаимодействия железнодорожного пути и подвижного состава. Это связано с ростом скоростей движения, давлений, температур, с непрерывным возрастанием мощности и быстроходности подвижного состава. Следует также учитывать, что реальные материалы не являются идеально упругими и обладают потерями энергии на внутреннее трение, в результате чего возникают силы внутреннего трения, или диссипативные силы, играющие существенную роль в вопросах ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте. Если бы диссипативных сил не было, то на резонансных частотах амплитуды колебаний возрастали бы бесконечно. Влияние затухания в упругих системах на развитие амплитуд колебаний имеет существенное значение, так как от величины этого затухания зависят напряжения в области резонанса.

Ключевые слова: расчету, энергии и внешнего демпфирования.

В [1, 2] в отличие от некоторых работ в уравнения колебания рельсовой нити добавлены члены, учитывающие влияние сдвига, инерции вращения, продольной силы и демпфирования, а также влияние поперечных горизонтальных сил и кручения рельса.

Однако проблема учета диссипативных сил при исследовании динамического взаимодействия пути и подвижного состава еще не решалась. В данной статье приводится общее решение уравнения колебания рельсовой нити с учетом внешнего сопротивления (демпфирования) подрельсового основания и внутреннего сопротивления (диссипации), полученное рекуррентно-операторным методом.

Рассмотрим уравнение

$$(a_{41}\partial_x^4\partial_t + a_{40}\partial_x^4 + a_{22}\partial_x^2\partial_t^2 + a_{04}\partial_t^4 + a_{02}\partial_t^2 + a_{01}\partial_t + a_{20}\partial_x^2 + a_{00})z(x,t) = f(x,t) \quad (1)$$

Здесь коэффициент a_{41} учитывает диссипацию, коэффициент a_{01} учитывает внешнее сопротивление подрельсового основания, коэффициенты a_{00}, a_{20} учитывают реакцию винклеровского основания и влияние продольных сил в рельсе соответственно, коэффициенты a_{22}, a_{04} учитывают влияние инерции поворота и перерезывающих сил, $z(x,t)$ - вертикальные колебания поперечных сечений рельса, $f(x,t)$ - внешняя динамическая нагрузка от колес подвижного состава. В частном случае при $a_{41} = a_{01} = a_{20} = a_{00} = 0$ получаем уравнение С.П. Тимошенко [3], а при $a_{41} = a_{01} = a_{04} = a_{22} = 0$ уравнение колебания рельса приведенное в [4]. Значения для всех коэффициентов a_{sp} приведены в [3, 4].

Полагая $a_{40} = 1$ (что всегда можно сделать делением всего уравнения на этот коэффициент), будем искать решение этого уравнения в соответствии с рекуррентно-операторным методом [5] в виде следующего операторно-степенного ряда, действующего на произвольные аналитические функции $g_r(t)$

$$z_r(x, g_r(t)) = \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} Q(i, j) \frac{x^{i+r}}{(i+r)!} \partial_t^j g(t); \quad r = 0, 1, 2, 3 \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1) и приводя подобные путем соответствующих сдвижек индексов i, j , с таким расчетом, чтобы вынести за скобки общий множитель при коэффициенте $a_{40} = 1$ и приравнявая затем выражение в

¹ к.ф.-м.н., доц

² (ТГГРУ)

скобках к нулю, получим следующее рекуррентное уравнение для определения постоянных коэффициентов $Q(i, j)$:

$$Q(i, j) = -[a_{41}Q(i, j-1) + a_{04}Q(i-4, j-4) + a_{22}Q(i-2, j-2) + a_{02}Q(i-4, j-2) + a_{01}Q(i-4, j-1) + a_{20}Q(i-2, j) + a_{00}Q(i-4, j)] \quad (3)$$

при начальных условиях:

$$Q(0,0) = 1; \quad Q(i, j) = 0 \text{ при } i < 0 \text{ или при } j < 0 \quad (4)$$

Таким образом, общим решением однородного уравнения (1) будет сумма четырех линейно независимых частных решений

$$z_{одн}(x, t) = \sum_{r=0}^{r=3} z_r(x, g_r(t)) \quad (5)$$

А частным решением неоднородного уравнения (1), в соответствии с рекуррентно-операторным методом, будет

$$\tilde{z}(x, f(x, t)) = \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} Q(i, j) x^{-(i+4)} \partial_t^j f(x, t) \quad (6)$$

где введено обозначение $x^{-s} = \int_{x=0}^x \dots \int_{x=0}^x f(x, t) dx^s$

а коэффициенты $Q(i, j)$ определяются из тех же условий (3)-(4). Общим решением уравнения (1) будет сумма решений (5)-(6). При этом частное решение (6) удовлетворяет нулевым начальным условиям при $x = 0$ и не влияет на определение произвольных функций $g_r(t)$ из начальных условий. В результате получаем точное решение задачи Коши. Получено общее решение рекуррентного уравнения, позволяющее в некоторых частных случаях свернуть в (2) ряды в элементарные функции. Если в (2) положить $g(t) = \sin \omega t$ или $\cos \omega t$, то получим решение с разделенными переменными и для определения частот собственных колебаний вместо сложных трансцендентных уравнений, получаемых в классических случаях, получаем алгебраические уравнения частот, позволяющие определять точные выражения частот, включая и комплексные частоты [5].

Разработанная методика расчета рельсовой нити, учитывающая затухания, дает возможность увеличить динамическое действие от подвижного состава на рельсы, полнее использовать ресурсы износостойкости рельсов и резервы мощности подвижного состава.

Литература

1. Рожкова Е.В. Рекуррентно-операторный метод решения динамической задачи о взаимодействии пути и подвижного состава. Материалы Республиканского научного семинара-совещания «Проблемы механики деформированного тела». Ташкент, ТашИИТ, 2005. С.84-87.
2. Рожкова Е.В. Решение пространственной задачи о взаимодействии пути и подвижного состава рекуррентно-операторным методом //Вестник КазАТК им. М. Тынышпаева», Алматы, 2006, №1. С. 128-131.
3. Филиппов А.П. Колебания деформируемых систем. М. – Машиностроение, 1971. 734 с.
4. Вериго М.Ф., Коган Ф.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М. - Транспорт, 1986. 559 с.
5. Рожкова Е.В. Рекуррентно-операторный метод в задачах о колебании стержневых систем. МТТ, Москва, №6, 2009, С. 124-138.
6. Mamurova, F. T., Abdullayeva, N. K., & Mallaboyev, N. (2019). USING THE «ASSESSMENT» METHOD IN ASSESSING STUDENTS KNOWLEDGE. *Theoretical & Applied Science*, (11), 80-83.
7. Mamurova, F. I., & Mustafoev, E. (2021, October). Aksonometrik Proyeksiyalarning Asosiy Teoremasi. *Dimmetrik Aksonometriya Qurish*. In " *ONLINE-CONFERENCES" PLATFORM* (pp. 100-103).
8. Mamurova, F. I., & ugli Mustafayev, E. I. (2021). SHADOWS IN A PERSPECTIVE BUILDING. *Conferencious Online*, 16-18.
9. Mamurova, F. I., & oglu Akmalov, J. O. (2021). ORGANIZATION OF GEODESIC WORK. STATE GEODESIC NETWORKS. *Conferencious Online*, 21-23.

10. Islomovna M. F. et al. DESIGNING THE METHODOICAL SYSTEM OF THE TEACHING PROCESS OF COMPUTER GRAPHICS FOR THE SPECIALTY OF ENGINEER-BUILDER //Journal of Contemporary Issues in Business & Government. – 2021. – T. 27. – №. 4
11. Olimov, S. S. (2021). The innovation process is a priority in the development of pedagogical sciences.
12. Olimov, S. S., & Mamurova, D. I. (2021). Graphic Information Processing Technology and its Importance. *European Journal of Life Safety and Stability (2660-9630)*, 10, 1-4.
13. Olimov, S. S., & Mamurova, D. I. (2022). Information Technology in Education. *Pioneer: Journal of Advanced Research and Scientific Progress*, 1(1), 17-22.
14. Olimov, S. (2020). The differentiation of education is an important factor of pedagogical technology. *European Journal of Research and Reflection in Educational Sciences*, 8(11).
15. Toshtemirovna T. N. Education process directed to the person as the basis of increasing knowing activity of pupils //The advanced science open access journal. United states. – 2013. – №. 6. – C. 83-85.
16. Toshtemirovna T. N. Methods and techniques of developing cognitive activities of primary school pupils //ACADEMICIA. An International Multidisciplinary Research Journal. – 2020. – №. 10. – C. 7.13.
17. To'raqulovich J. U., Muxitdinovna A. Z. Features of Speech Development in Children of Middle Preschool Age.
18. Salixova, Z. A. "Creasing the reading competence of future teachers." *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal* 10.3 (2022): 690-692.
19. Salikhova, Zamira Aminovna. "CURRENT DIRECTIONS OF WORK OF FUTURE TEACHERS ON THE FORMATION OF READING COMPETENCE." *Scientific reports of Bukhara State University* 5.3 (2021): 156-166.
20. Yoshiyevna U. M. THE METHOD OF ORGANIZING" GROUP SINGING" IN TEACHING" MUSICAL CULTURE" IN SECONDARY SCHOOLS //Modern Journal of Social Sciences and Humanities. – 2022. – T. 4. – C. 271-274.
21. Yoshiyevna U. M. THE ROLE OF THE CREATIVE HERITAGE OF EASTERN THINKERS IN THE FORMATION OF THE SPIRITUAL AND MORAL OUTLOOK AND MUSICAL PERCEPTION OF YOUNG PEOPLE //E-Conference Globe. – 2021. – C. 102-104.
22. Buranova M. A. Interrelation of Forecasting, Planning and Strategy Processes at Enterprises //Miasto Przyszłości. – 2022. – T. 24. – C. 80-81.
23. Buranova M. A. Innovative Potential-Driving Force Competitiveness of Industrial Enterprises //Middle European Scientific Bulletin. – 2021. – T. 13.
24. Buranova M. A. Innovation is an indicator of the economic effect //ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. – 2021. – T. 11. – №. 5. – C. 1152-1158.