

Приведенные уравнения движения позволяют исследовать движение транспортных средств и путевой структуры не только прямолинейным, а и по криволинейном (постоянной и переменной кривизны) участкам пути.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Говоруха В.В. Физико-технические основы создания элементов рельсового транспорта шахт и карьеров. - Киев: Наукова думка, 1992. 200с.

2. Радченко Н.А. Криволинейное движение рельсовых транспортных средств. - Киев: Наукова думка, 1988. - 216с.

3. Лазарян В.А. Применение математических машин непрерывного действия к решению задач динамики подвижного состава железных дорог. - М.: Трансжелдориздат, 1962. 220с.

4. Киселев В.А. Строительная механика. - М.: Стройиздат, 1986, 520 с.

УДК 625.1+ 622.6

А.В. Говоруха

### ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И РЕЛЬСОВОГО ПУТИ РАЗЛИЧНОЙ МОДИФИКАЦИИ.

Викладено підхід для розробки нових моделей колійної структури для дослідження взаємодії рухомого складу і рейкової колії з урахуванням їх інерційних і пружно-десипативних властивостей. Бібліогр. : - 33 найм.

Железнодорожный транспорт является одним из основных звеньев транспортной системы страны. На его долю приходится больше половины грузооборота и более третьей части пассажирских перевозок, причем его ведущая роль в перевозке грузов сохранится и на отдаленную перспективу [1].

В разветвленной сети подземного шахтного транспорта рельсовый транспорт по протяженности путей занимает ведущее место, значительно опережая по этому показателю другие виды транспорта [2].

В связи с этим модернизация и совершенствование подвижного состава железных дорог является одной из актуальных задач, от решения которой в значительной мере зависит интенсификация производства и ускорение научно-технического прогресса.

Для постоянного обновления и совершенствования рельсового транспорта необходимо также совершенствовать и повышать уровень научных исследований, в первую очередь в области динамики подвижного состава и, в частности, в области взаимодействия подвижного состава и пути.

Динамика подвижного состава и вопросы его взаимодействия с рельсовым путем определяют в конечном счете возможность и условия перевозки пассажиров и грузов, безопасность движения, плавность хода, обеспечивающих комфортабельность перевозок пассажиров и сохранность грузов.

Кроме этого динамические качества подвижного состава определяют нагруженность элементов конструкций подвижного состава и пути, их надежность и долговечность.

Следует особо отметить, что железнодорожный путь наряду с конструкцией подвижного состава является ключевым элементом, от которого зависят динамические качества транспортных средств. Поэтому необходимо в теоретических исследованиях учитывать, по возможности, наиболее полно конструктивные особенности как подвижного состава, так и пути, что является одной из предпосылок успешного поиска резервов улучшения их эксплуатационных характеристик.

В настоящей работе изложены предпосылки приближения расчетной схемы путевой структуры к реальным условиям эксплуатации с тем, чтобы на этой основе разработать математическую модель, описывающую совместные пространственные колебания транспортного средства и путевой структуры как в прямолинейных так и в криволинейных участках пути (включая стрелочные переводы). Это позволит выявить эффекты, учет которых должен привести к успешным поискам резервов улучшения эксплуатационных характеристик подвижного состава и пути.

Основными ключевыми элементами в этой модели является учет дискретности пути, обусловленный рельсошпальной решеткой, учет упругих свойств рельсов между шпалами, инерционных, жесткостных и диссипативных свойств рельсов, шпал и основания в местах установки шпал и рельсов, а также переменных характеристик в зоне стрелочных переводов.

Предлагаемая математическая модель взаимодействия транспортного средства и пути существенно отличается от ранее использовавшихся моделей и в значительной мере более точно учитывает основные конструктивные особенности пути.

Отметим использовавшиеся ранее работы в области взаимодействия подвижного состава и пути, акцентируя при этом внимание на особенности, представленные в расчетных схемах путевой структуры.

Следует подчеркнуть, что математическое описание движения колебаний транспортных экипажей и путевой структуры получило распространение после широкого внедрения электронных средств вычислительной техники в начале 60-х годов.

Наряду с работами по математическому моделированию процессов движения транспортных объектов в это время появились работы в области использования средств вычислительной техники для решения задач динамики подвижного состава [3].

В начале основное внимание уделялось выбору расчетной схемы транспортного средства, представляя при этом путь жестким с детерминированными неровностями [4]. В этом случае движение пути не рассматривалось, что обуславливало весьма приближенную оценку колебаний и нагруженности подвижного состава. К этому следует добавить, что в большом числе работ рассматривались не пространственные, а плоские колебания транспортных средств в вертикальной продольной плоскости [5].

Наряду с таким представлением пути в ряде работ учитывались его упругие свойства без учета инерционности [6]. Это оправдано при статических работах, а также при оценке квазистатического вписывания экипажей в криволинейных участках пути или при определении

стационарных режимов и исследовании устойчивости их невозмущенного движения в прямолинейных и криволинейных участках пути.

Ю.С. Роменом была учтена упругость рельсовых нитей под набегающими колесами (в них гребни представлялись роликами, натягивающимися без трения) при исследовании колебаний вагонов в криволинейных участках постоянной и измененной кривизны [7].

Отметим, что безинерционная модель путевой структуры не обладает распределительной способностью и в динамических расчетах может применяться с оговорками об их приближенности [5,8,9].

Попытка учесть инерционные и упругие свойства пути была предпринята в работе [10] в предположении, что шпалы составляют сплошное основание и используется гипотеза Н.П. Петрова. Это предположение не отражает в полной мере свойства путевой структуры, обусловленные ее дискретностью, что может также оказать влияние на точность получаемых результатов.

Упругие и диссипативные свойства пути с детерминированными неровностями были учтены в работе [16] при исследовании вынужденных колебаний вагонов. При этом пренебрегалось силами инерции необрессоренных частей и анализировались колебания и нагруженность только обрессоренных частей.

Нагруженность и вынужденные колебания вагона в вертикальном и поперечном направлениях для случая использования железобетонного подрельсового основания были рассмотрены соответственно в ряде работ, причем в работе [12] рассматривается система с измененным числом степеней свободы, обусловленным периодическим набеганием гребней колес на головки рельсов. Естественно, что учесть особенности путевой структуры, обусловленные ее дискретностью с помощью предлагаемых математических моделей не представляется возможным.

Расчеты пути, как горной сплошной системы были рассмотрены Г.М. Шахуняном [13, 14]. Однако в этих расчетах не принимались во внимание динамические нагрузки, обуславливаемые колебаниями экипажа.

Дифференциальные уравнения движения экипажа движущегося по инерционному деформируемому пути были получены и решены на

аналоговых и цифровых вычислительных машинах В.А. Лазаряном и его учениками [1,5,8,9,10,15-20] в предположении, что подрельсовое основание подчиняется гипотезам В.З. Власова, Н.Н. Леонтьева, Н.П. Петрова, Г.М. Шахунянца и их модификации [21,22,23].

Отметим, что эти уравнения не учитывают особенностей распределения прогибов рельсов, вследствие расположения шпал вдоль пути. Кроме этого при использовании модели пути как упругого однородного полупространства (по Г.Б. Муравскому) не обеспечивается получение достаточно надежных результатов [5].

Вследствие увеличенной по сравнению с реальным основанием распределительной способности полупространства значительно завышается ряд расчетных величин [13]. Отметим также, что применение гипотез Власова-Леонтьева и Петрова-Шахунянца позволяет выразить изменения балки и основания через вертикальные изменения колесных пар. Это приводит к тому, что учет инерционных и упругих свойств основания не изменяет структуры дифференциальных уравнений экипажа и отражается лишь на численных значениях коэффициентов этих уравнений [5].

Учет инерционных и упруго-диссипативных свойств пути проводился также в работах [24], в которой рассматриваются плоские колебания в вертикальной продольной плоскости в случае представления подрельсового основания двумя слоями.

Целесообразно использование таких математических моделей для задач, в которых основными вопросами являются нагруженность путевой структуры и в первую очередь, распределение нагрузок по глубине основания.

Значительный вклад в исследование вопросов взаимодействия подвижного состава и пути внесли ученые России среди которых, в первую очередь следует отметить работы Анисимова П.С., Бороненко Ю.М., Бурчака Г.П., Вериго М.Ф., Вершинского С.В., Грачевой Л.О., Данилова В.И., Когана А.Я., Крепкогорского С.С., Кудрявцева Н.Н., Львова А.А., Медея Б.В., Ромена Ю.С.,

Севоськина А.Н., Соболева М.М., Хусидова В.Д., Филиппова В.Н., Челнокова И.И. и других ученых /25-33/.

Среди работ, в которых учитывались совместные колебания экипажей и пути следует выделить работы [27,28,29,31,32], причем в работах [27,28,29] путь представлялся сплошной системой и его колебания в частных производных.

В работе /33/ приведено описание вагона и рельсового пути как дискретной системы, однако эта модель также не отражает в полной мере особенности путевой структуры. В ней инерционные свойства пути учтены путем добавок приведенных масс пути к каждому колесу и не учитывают неравномерности прогибов рельсов, обусловленных дискретностью шпальной решетки.

Краткий обзор работ в области рельсового пути позволяет выполнить анализ существующих математических моделей, отражающих определенные физические процессы в сложных транспортных системах и предложить новую математическую модель учитывающую упруго-диссипативные свойства, угловые и осевые перемещения рельсового пути или элементов стрелочных переводов с переменными характеристиками их свойств в поперечном и вертикальном направлениях при движении экипажа по прямолинейным и криволинейным участкам пути, что позволяет в значительной степени приблизить ее к реальным условиям эксплуатации.

Так как возмущения, действующие на экипаж, преимущественно обусловлены неоднородностью и несовершенством путевой структуры, то следует ожидать, что предлагаемая математическая модель позволит выявить резервы для улучшения эксплуатационных качеств подвижного состава и пути.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радченко Н.А. Криволинейное движение рельсовых транспортных средств.-Киев: Наукова думка, 1988.-216с.

2. Говоруха В.В. Физико-технические основы создания элементов рельсового транспорта шахт и карьеров. - Киев: Наукова думка, 1992. 200с.

3. Лазарян В.А. Применение математических машин непрерывного действия к решению задач динамики подвижного состава железных дорог. - М.: Трансжелдориздат, 1962. 220с.

5. Лазарян В.А. О моделях для исследования взаимодействия подвижного состава и пути. - В кн.: Повышение эксплуатационной надежности локомотивов в условиях дорог Урала и Сибири. Омск: ОмИИТ, 1973, с.174-177.

6. Лазарян В.А., Коротенко М.Л., Радченко Н.А. Влияние упругости пути и тележек на устойчивость невозмущенного движения вагонов. // Тр. ДИИТ, вып.103, "Транспорт", 1970, стр. 68-74.

7. Ромен Ю.С. О нелинейных колебаниях железнодорожного экипажа в кривых произвольного очертания. // Тр. ВНИИЖТ-1967, вып.347, с.5-26.

8. Ушкалов В.Ф. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств. - Киев: Наукова думка, 1989. - 240с.

9. Гальченко Л.А. О влиянии свойств некоторых моделей подрельсового основания на динамические характеристики системы скоростной экипаж - путь. // В кн. Проблемы динамики и прочности железнодорожного подвижного состава. - Днепропетровск, 1981. - с.52-55

10. Данович В.Д. Определение функции прогиба рельсошпальной решетки, лежащей на упругом основании, с учетом инерции шпал и основания. - В кн.: Переходные режимы движения и колебания подвижного состава: Межвуз. Сб. Научн. Тр. - Днепропетровск: ДИИТ, 1973, с.74-79.

11. Лазарян В.А., Данович В.Д., Манашкин Л.А. Вынужденные колебания вагонов при движении по неровностям пути. // Тр. ДИИТ, 1969, вып.799, с.26-31.

12. Волошко Ю.Д. Особенности горизонтального поперечного воздействия вагона на путь с железобетонным основанием. // Тр. ДИИТ, 1969, вып.99, с.49-56.

13. Шахунянец Г.М. Железнодорожный путь. -М. : Транспорт, 1969-536с.

14. Шахунянец Г.М. Расчеты верхнего строения пути. -М.: Трансжелдориздат, 1959.-264с.

15. Лазарян В.А., Данович В.Д. Определение функций перемещений для исследования пространственных колебаний экипажа на инерционном (по В.З. Власову) основании. //Некоторые задачи скоростного рельсового транспорта. -Киев : Наукова думка, 1973, с.131-145.

16. Данович В.Д. Исследование плоских колебаний четырехосного рельсового экипажа, движущегося по балке, лежащей на сплошном основании. //Проблемы механики подземного транспорта. ДИИТ, 1978, вып.199/25, с.31-33.

17. Данович В.Д., Иккол В.С. О выборе расчетных параметров подрельсового основания по модели Власова. //Тр.ДИИТ,1977, вып.190/23,с.53-96.

18. Данович В.Д., Трубицкая Е.Ю. Пространственные колебания двухосного скоростного вагона на инерционном ( по В.З. Власову) основании. //Некоторые задачи механики скоростного рельсового транспорта. -Киев: Наукова думка, 1973, с.102-116.

19. Данович В.Д., Лиговский Р.С., Грановский Р.В. Пространственные колебания грузового вагона при движении по пути с детерминированными и случайными неровностями. //Механика подземного транспорта. Киев: Наукова думка, 1977, с.37-41.

20. Гальченко П.А. Сопоставление усилий в системе экипаж-путь, полученных с использованием некоторых моделей подрельсового основания. -Тр.ДИИТ, 1978, вып.199/25, с.33-38.

21. Власов В.З., Леонтьев Н.Н. Балки плиты и оболочки на упругом основании. -М.: Физматгиз, 1960,-492 с.

22. Муравский Г.Б. Действие подвижной нагрузки на балку бесконечной длины, лежащей на упругом основании. //Тр.ДИИТ, 1961, вып.134,с.54-84.

23. Муравский Г.Б. О модели упругого основания. -Строительная механика и расчет сооружений, 1967, N 6, с.91-97.

24.Залесский А.И. Плоская задача о колебаниях экипажа, движущегося по балке, лежащей на упруго-вязком инерционном основании. //Тр.ДИИТ, 1972, вып.128, с.79-82.

25.Вериго М.Ф. Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава. //Тр.ЦНИИ МПС, 1955, вып.97, с.25-228.

26.Вершинский С.В., Данилов В.Н., Челноков И.И. Динамика вагона. -М.: Транспорт, 1972, -304с.

27.Коган А.Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь. -Тр. ЦНИИ МПС, 1969, вып.402, с.1-20.

28.Коган А.Я. Колебания рельса при движении по нему переменной нагрузки. //Вестник ВНИИЖТ, 1968, N 1, с.7-11

29.Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. -М.: Транспорт, 1986,-559с.

30.Ромен Ю.С. Моделирование взаимодействия подвижного состава и пути с учетом накопления остаточных деформаций рельсовой колеи. //Вестник ВНИИЖТ, 1978, N 2, с.42-45.

31. Лазарян В.А., Липовский Р.С., Манашкин Л.А., Данович В.Д. Вынужденные колебания четырехосного грузового вагона при движении по инерционному пути. //Тр. ДИИТ, 1968, вып.88, с.13-69.

32.Волошко В.Д. Уравнения движения четырехосного вагона с учетом параметров рельсов и подрельсового основания в горизонтальной плоскости. //Тр. ДИИТ, 1968, вып.88, с.31-48.

33.Лазарян В.А., Коротенко М.Л., Липовский Р.С., Данович В.Д. Дифференциальные уравнения пространственных колебаний четырехосного грузового вагона при движении по инерционному пути, рассматриваемому как дискретная система. //Тр.ДИИТ, 1972, вып.138, с.3-16.