

**БУДІВНИЦТВО, РЕКОНСТРУКЦІЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ
КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

УДК 625.143.482

Даренский А.Н., к.т.н., профессор (УкрГАЗТ)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЧИСЛЕННЫМИ
МЕТОДАМИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПУТЬ
СПЕЦИАЛЬНЫХ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВАГОНОВ
ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА**

Введение. Одной из главных задач при разработке мероприятий, позволяющих уменьшить количество отказов пути из-за неблагоприятных воздействий специальных и специализированных вагонов промышленного транспорта, является поиск методов и средств, позволяющих с большой точностью раскрыть существо и течение динамических процессов, возникающих при движении таких вагонов.

Такие методы и средства должны давать не только качественную, но и количественную информацию о процессах, адекватных реальным процессам в пути. Необходимо, чтобы информация имела вид графиков, изображающих течение динамических процессов во времени. Объем вводимой в исследования технической информации, описывающий практически все детали конструкции пути и подвижного состава должен быть достаточно большим для исследований влияния на динамические процессы взаимодействия подвижного состава и пути значительного числа параметров, их комбинаций и условий движения.

Таким методом является, по мнению автора, метод математического моделирования пространственной динамической системы “экипаж-путь” [1-4] и его реализация с использованием современных программных систем. Алгоритм и программа математической модели фактически адекватны натуральным физическим процессам, происходящим в реальных конструкциях пути и подвижного состава, что подтверждается серией экспериментальных работ [5].

Исследование воздействия специальных и специализированных вагонов на путь численными методами с использованием программной реализации математической модели позволяет получать результаты при

точно заданных исходных данных. Между тем при опытах в пути установить точно исходные данные каждого опыта практически невозможно. По времени выполнения исследований численными методами, возможностями быстрого изменения исходных данных, затратам материальных и финансовых средств, математическое моделирование значительно превосходит метод натуральных экспериментов.

Основная часть. Для выявления особенностей воздействия на путь специального и специализированного подвижного состава промышленного транспорта были выполнены многовариантные расчеты с использованием разработанной компьютерной программы математической модели пространственной динамической системы “экипаж-путь” [1-4].

В качестве расчетных экипажей были приняты некоторые наиболее распространенные типы специальных и специализированных вагонов металлургических и горнодобывающих предприятий Украины.

Также был принят наиболее массовый грузовой вагон магистрального транспорта – четырёхосный полувагон на тележках типа ЦНИИ-ХЗ-0, который рассматривался в качестве эталонной нагрузки для сравнительного качественного анализа результатов. В расчетах использована модель 12-1000, как наиболее употребляемая для внешних и внутренних перевозок металлургических и горнодобывающих предприятий.

Технические характеристики указанных выше вагонов, которые были приняты в расчетах, получены на основании анализа информации, приведенной в [6-8]. Для каждого экипажа учитывалось 25 параметров.

Скорость движения экипажей задавались для специальных вагонов от 2,5 до 7,5 км/ч, в некоторых случаях – до 10 км/ч, для специализированных вагонов и полувагона модели 12-1000 – от 5 до 40, редко – до 80 км/ч, что соответствует разрешенным скоростям движения для такого подвижного состава на промышленном транспорте.

Рассматривался прямой участок пути с рельсами типа Р65 на железобетонных и деревянных шпалах. Характеристики рельсов – моменты инерции, моменты сопротивлений, площади поперечного сечения принимались с учетом износа рельсов в процессе эксплуатации [9].

Пространственные жесткости и приведенные эквивалентные коэффициенты диссипации рельсовых опор принимались в зависимости от сроков эксплуатации пути по результатам исследований, изложенным в [10].

Поскольку величины вертикальных сил воздействия на путь у разных типов специальных и специализированных вагонов могут отличаться более, чем в два раза, и эти силы непрерывно изменяются при движении экипажей, для сравнительного анализа более удобно и информативно использовать не их абсолютные значения, а коэффициенты динамики и

амплитудные коэффициенты. Коэффициент динамики представляет собой отношение максимальных вертикальных динамических сил, возникающих при движении, к величине статической колёсной (или осевой) нагрузки:

$$K_y = \frac{P_{\max \partial u n}}{P_{ст}}$$

Поскольку при движении экипажа вертикальные силы изменяются не только в большую, но и в меньшую от статических значений сторону, величину этих изменений можно оценивать значениями амплитудного коэффициента:

$$K_a = \frac{P_{\max \partial u n}}{P_{\min \partial u n}}$$

Следует отметить, что при использовании расчетной схемы рельса как балки на сплошном упругом основании в динамических расчетах взаимодействия экипажа и пути в вертикальной плоскости, при движении экипажа по прямому ровному участку с установившейся скоростью коэффициент динамики и амплитудный коэффициент равны единице. Между тем в реальных условиях вертикальные силы непрерывно изменяются и эти коэффициенты отличаются от единицы весьма существенно.

На рисунке 1 приведены полученные в результате расчетов графики изменений вертикальных сил, действующих от колеса на рельс при движении различных вагонов по пути со скоростью 10 км/ч. В качестве оси абсцисс использовано пройденное вагоном расстояние, ось ординат – силы воздействия (Н). В этих расчетах величины пространственных жесткостей рельсовых опор были приняты постоянными.

На рисунке 2 – 8 приведены полученные на основании анализа результатов расчетов графики зависимостей коэффициентов динамики и амплитудных коэффициентов от скоростей движения тех вагонов, которые являются наиболее характерными типами подвижного состава для условий промышленного железнодорожного транспорта. Значения скоростей движения приняты в пределах фактически реализуемых. На рисунках даны графики зависимостей для пути на железобетонных и на деревянных шпалах, как для новой конструкции, так и после десяти лет её эксплуатации. Эпюра шпал в расчетах принята равной 1840 шт./км.

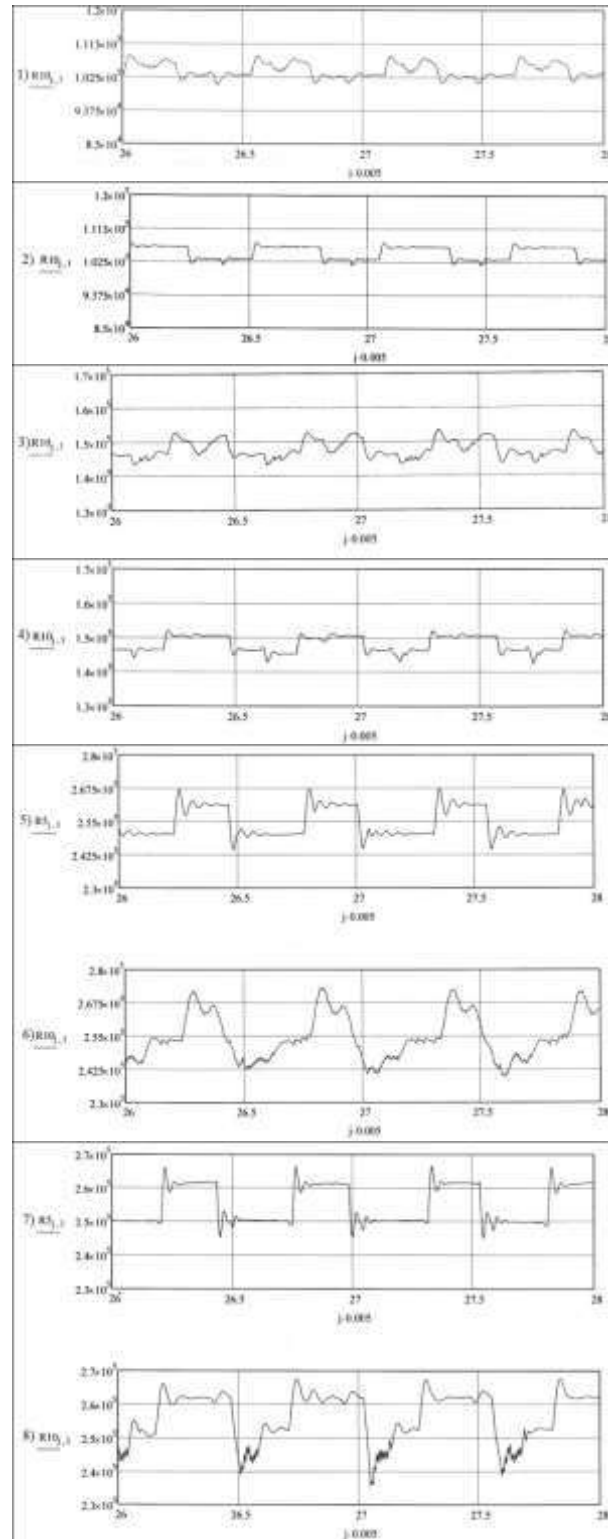


Рисунок 1. – Графики динамических вертикальных сил при движении вагонов:

- 1 – полувагон модели 12-1000, путь на деревянных шпалах, скорость – 10 км/ч
- 2 – то же железобетонные шпалы
- 3 – думпкар ВС-85, деревянные шпалы
- 4 – то же железобетонные шпалы
- 5 – чугуновоз грузоподъемностью 140 т, деревянные шпалы, скорость – 5 км/ч
- 6 – то же, скорость 10 км/ч
- 7 – чугуновоз грузоподъемностью 140 т, железобетонные шпалы, скорость – 5 км/ч
- 8 – то же, скорость 10 км/ч

Графики показывают, что на динамические вертикальные силы оказывают влияние как характеристики двигающихся экипажей, их скорость, так и жесткости рельсовых опор. Причем характер изменений этих сил существенно различается при разных вариантах расчетов.

Для всех рассмотренных типов вагонов зависимости коэффициентов динамики и амплитудных коэффициентов от скоростей движения представляют собой показательные функции, при этом показатель степени аргумента меньше единицы, хотя, ориентируясь на общие положения динамики процесса, можно было бы ожидать другие значения. По-видимому здесь оказывает влияние не только скорость движения вагонов, но и соотношение жесткостей рессорных комплектов вагонов и пути, параметры диссипации в этих подсистемах и другие факторы.

При одинаковых скоростях движения, например 5 км/ч, для полувагона коэффициент динамики находится в пределах $1,006 \div 1,009$ для разных типов шпал и сроков службы пути; думпкара ВС-85 – $1,032 \div 1,057$; для чугуновоза грузоподъемностью 140 т – $1,059 \div 1,075$; для тележки И-120-550 эти величины достигают значений $1,115 \div 1,127$. В то же время при скорости 10 км/ч значения амплитудных коэффициентов составляют 1,06 – 1,15 для полувагонов 1,01 – 1,02, для думпкара ВС-85, 1,128 – 1,147 для чугуновоза грузоподъемностью 140 т.

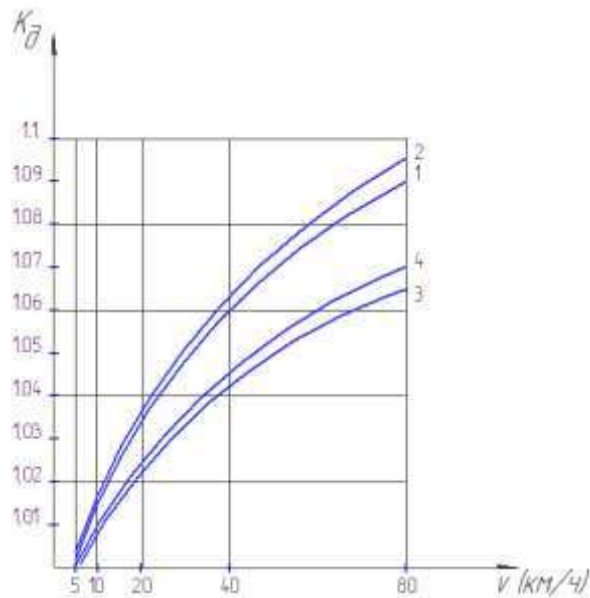


Рисунок 2. – Графики залежностей коефіцієнтів динаміки від швидкості руху вагона моделі 12-1000

- 1 – залізобетонні шпалы, $t_{сл}=0$
- 2 – залізобетонні шпалы, $t_{сл}=10$ лет
- 3 – дерев'яні шпалы, $t_{сл}=0$
- 4 – дерев'яні шпалы, $t_{сл}=10$ лет.

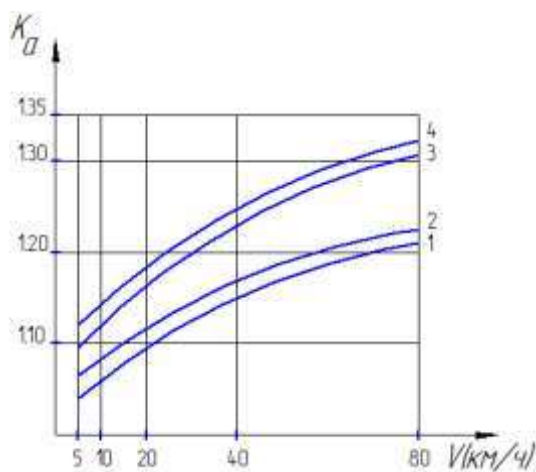


Рисунок 3. – Графики залежностей амплітудних коефіцієнтів від швидкості руху вагона моделі 12-1000

- 1 – залізобетонні шпалы, $t_{сл}=0$
- 2 – залізобетонні шпалы, $t_{сл}=10$ лет
- 3 – дерев'яні шпалы, $t_{сл}=0$
- 4 – дерев'яні шпалы, $t_{сл}=10$ лет.

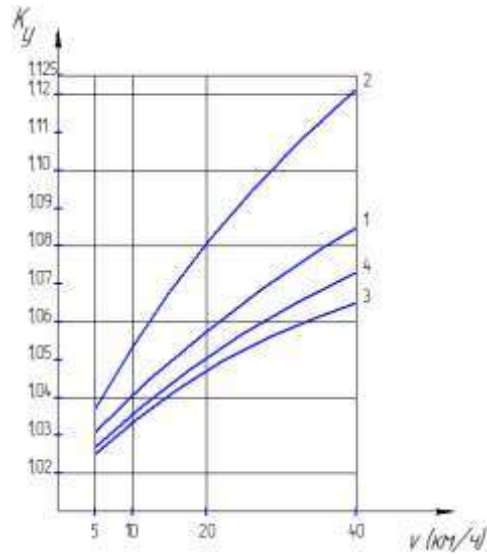


Рисунок 4. – Графики зависимостей коэффициентов динамики от скорости движения думпкара ВС-85
1 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=0$
2 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=10$ лет
3 – деревянные шпалы, $t_{сл}=0$
4 – деревянные шпалы, $t_{сл}=10$ лет.

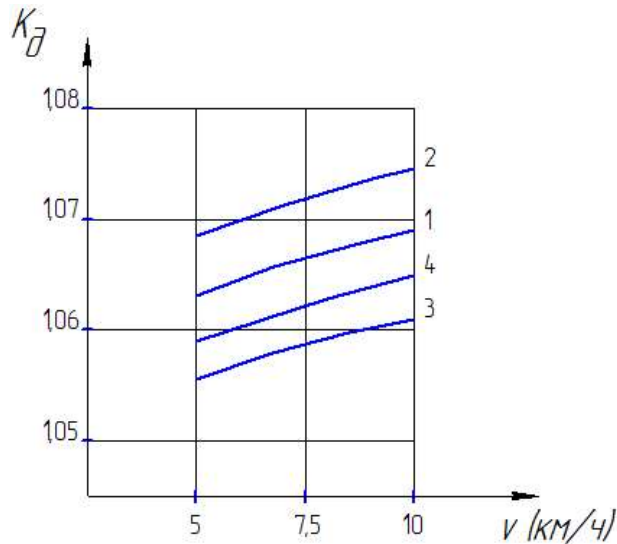
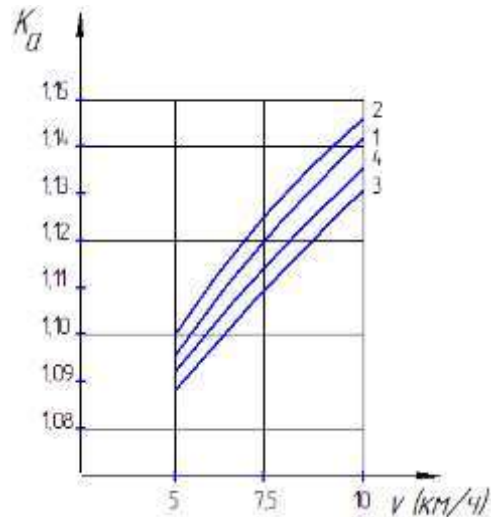
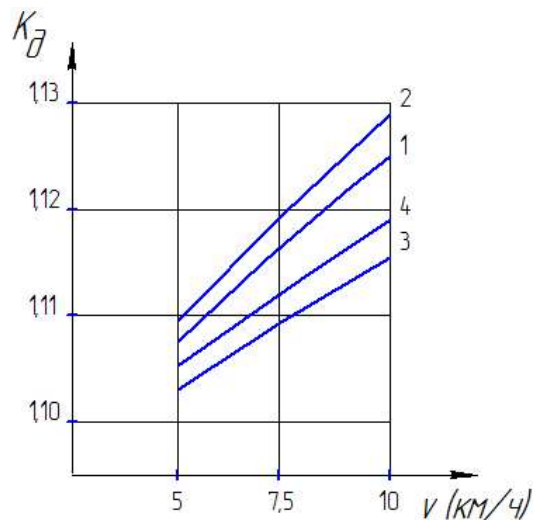


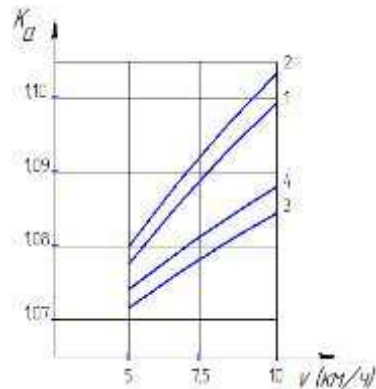
Рисунок 5. – Графики зависимостей коэффициентов динамики от скорости движения чугуновоза грузоподъемностью 140 т
1 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=0$
2 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=10$ лет
3 – деревянные шпалы, $t_{сл}=0$
4 – деревянные шпалы, $t_{сл}=10$ лет.



Рисунко 6. – Графики залежностей амплітудних коефіцієнтів від швидкості руху вантажного поїзда грузоподъемністю 140 т
1 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=0$
2 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=10$ лет
3 – деревянные шпалы, $t_{сл}=0$
4 – деревянные шпалы, $t_{сл}=10$ лет.



Рисунко 7. – Графики залежностей коефіцієнтів динаміки від швидкості руху тележки для изложниц И-120-5500
1 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=0$
2 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=10$ лет
3 – деревянные шпалы, $t_{сл}=0$
4 – деревянные шпалы, $t_{сл}=10$ лет.



Рисунко 8. – Графики зависимостей амплитудных коэффициентов от скорости движения тележки для изложниц И-120-5500

- 1 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=0$
- 2 – железобетонные шпалы, $t_{сл}=10$ лет
- 3 – деревянные шпалы, $t_{сл}=0$
- 4 – деревянные шпалы, $t_{сл}=10$ лет.

Таким образом, влияние осевых нагрузок и жесткостей рессорных комплектов при движении по прямым участкам пути, не имеющем неровностей, на анализируемые параметры явно прослеживается.

Введение в расчеты неравноупругости рельсовых опор с применением метода Монте-Карло оказывает весьма существенное влияние на коэффициенты динамики. Так, при скорости 10 км/ч, изменение коэффициента неравноупругости опор от 0 до 0,2 (рисунок 9) вызывает увеличение коэффициентов динамики от 1,02 до 1,055 при движении полувагонов, для думпкаров ВС-85 эти изменения составляют $1,065 \div 1,125$, чугуновозов грузоподъемностью 140 т – $1,085 \div 1,173$ и при движении тележек для изложниц И-120-550 – $1,18 \div 1,215$.

При реализуемых на путях промышленного железнодорожного транспорта скоростях движения поездов основное влияние на величину вертикальных динамических сил оказывают короткие изолированные неровности профиля длиной до 6 м. На рисунке 10 и 11 приведены графики изменений коэффициентов динамики и амплитудных коэффициентов при движении некоторых типов вагонов, принятых к расчетам, по вертикальным изолированным неровностям длиной 2 и 4. В этих расчетах в качестве опор приняты железобетонные шпалы, срок эксплуатации пути – 10 лет. Для установления влияния именно неровностей на динамику воздействия подвижного состава на путь, жесткость опор здесь одинакова.

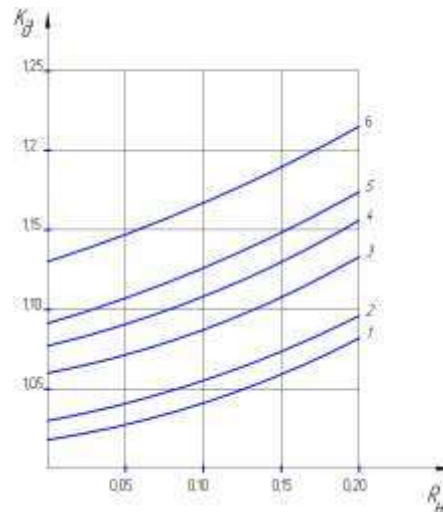


Рисунок 9. – Графіки залежностей коефіцієнтів динаміки екіпажей від коефіцієнта нерівноупругості рельсових опор, залізобетонні шпали, швидкість руху 10 км/ч:

- 1 – полувагон моделі 12-1000
- 2 – думпкар 6 ВС-60
- 3 – думпкар ВС-85
- 4 – платформа чугуновозна 70 т
- 5 – чугуновоз 140 т
- 6 – тележка для изложниц І-120-5500

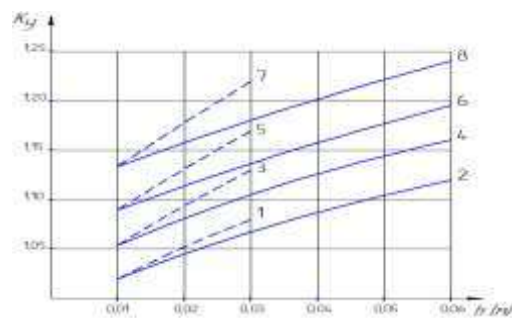


Рисунок 10. – Графіки залежностей коефіцієнтів динаміки від глибини вертикальної нерівності пути на залізобетонних шпалах, швидкість руху 10 км/ч:

- 1, 3, 5, 7 – довжина нерівності 2 м
- 2, 4, 6, 8 – довжина нерівності 4 м
- 1, 2 – полувагон моделі 12-1000
- 3, 4 – думпкар ВС-85
- 5, 6 – чугуновоз 140 т
- 7, 8 – тележка для изложниц І-120-5500.

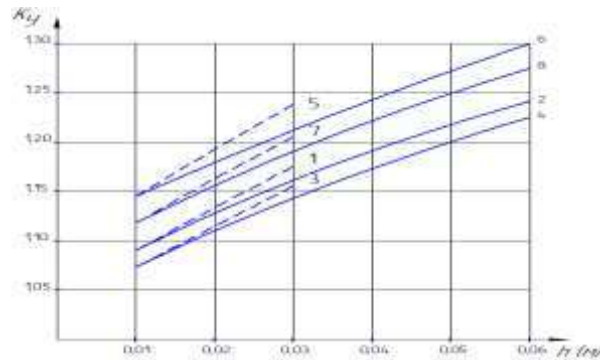


Рисунок 11. – Графики зависимостей амплитудных коэффициентов динамики от глубины вертикальной неровности пути на железобетонных шпалах, скорость движения 10 км/ч:

- 1, 3, 5, 7 – длина неровности 2 м
- 2, 4, 6, 8 – длина неровности 4 м
- 1, 2 – полувагон модели 12-1000
- 3, 4 – думпкары ВС-85
- 5, 6 – чугуновоз 140 т
- 7, 8 – тележка для изложниц И-120-5500.

При скорости движения 10 км/ч по прямому участку пути с вертикальной изолированной неровностью длиной 2 или 4 м коэффициент динамики полувагона, в зависимости от глубины неровности, достигает значений 1,075 – 1,123, амплитудный коэффициент – до 1,230; для думпкара ВС-85 эти значения составляют 1,16 и 1,22; для чугуновоза 1,195 и 1,30; для тележки И-120-5500 – 1,24 и 1,28 соответственно. В этом случае, если в расчеты вводится неравноупругость рельсовых опор, коэффициенты динамики при движении по пути с вертикальными неровностями возрастают на 12-20 %, амплитудные коэффициенты – на 8 - 17 %.

Выводы. Таким образом, использование расчетной схемы пути как балки на упругих опорах в математической модели динамической системы “экипаж-путь” позволило установить расчетами, что при движении по прямому участку пути с неравноупругими опорами величина максимальных динамических вертикальных сил, действующих от колеса на рельс для полувагона модели 12-1000 может достигать 118 кН (при скорости 40 км/ч), для думпкара ВС-85 – 174 кН (скорость 40 км/ч), чугуновоза грузоподъемностью 140 т – 296 кН (скорость 10 км/ч), для тележки И-120-5500 – 276 кН (скорость – 5 км/ч). При движении этих вагонов с теми же скоростями по пути с вертикальными изолированными неровностями значения вертикальных сил возрастают до 126 кН для

полувагона, 187 кН для думпкара ВС-85, 319 кН для чугуновоза грузоподъемностью 140 т и до 295 кН для тележки И-120-5500.

Литература

1. Даренський О.М. Розрахунок рейки як балки на пружних опорах під дією рухомого навантаження [Текст] / О.М. Даренський, Н.В. Бугаєць, В.Г. Вітольберг // ДПТ, тези доповідей. – 2010. №.14.-С.171.
2. Даренський О.М. Методологічні основи вибору розрахункової схеми динамічної системи “екіпаж-колія” для умов промислового транспорту [Текст] / О.М. Даренський // ІКСЗТ.-2010.-№2.-С. 32-36.
3. Даренський О.М. Розрахункова схема динамічної системи “екіпаж-колія” для умов промислового залізничного транспорту. Загальні положення і допущення математичної моделі системи [Текст] / О.М. Даренський, В.Г. Вітольберг // ДонНІИЖТ. Збірник наукових праць – 2010.- №21.-С. 219-230.
4. Даренський О.М. Умови контактування коліс і рейок в горизонтальній площині. Силкові і кінематичні зв'язки екіпажу і колії [Текст] / О.М. Даренський // Зб. наук. праць УкрДАЗТ – 2010.- №113.-С. 171-177.
5. А.Н. Даренский. Результаты экспериментальных работ по определению сил сопротивления железобетонных шпал перемещениям [Текст] / А.Н. Даренский, В.Г. Витольберг, Н.В. Бугаец // ДонИИЖТ. Збірник наукових праць – 2009.- №17.-С. 157-171.
6. Вагоны. Конструкция, теория и расчет [Текст]: учебник / Под. ред. Л.А. Шадура – М.: Транспорт, 1943,- 439 с.
7. Вагоны СССР [каталог-справочник 16-7-68].-М.: НИИинформтяжмаш, 1969.- 176 с.
8. Вагоны СССР [каталог-справочник 18-8-74].-М.: НИИинформтяжмаш, 1975.- 198 с.
9. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість [Текст]: Е.І. Даниленко, В.В. Рибкін.- К.: Транспорт України – 2006.-168 с.
10. Даренский А.Н. Результаты определения пространственных неупругих сопротивлений железобетонного пути деформациям для условий промышленного транспорта [Текст] / А.Н. Даренский // - ІКСЗТ.-2010.-№6.-С. 24-31