

Поперечные колебания металлического пролетного строения при взаимодействии с подвижным составом

Н. В. Семейко, Старший инженер

А. И. Савенко, Начальник расчетного отдела

Г. В. Михеев, Директор ООО «Вычислительная Механика», к.т.н.



**ИНСТИТУТ
ГИПРОСТРОЙМОСТ**
основан в 1945



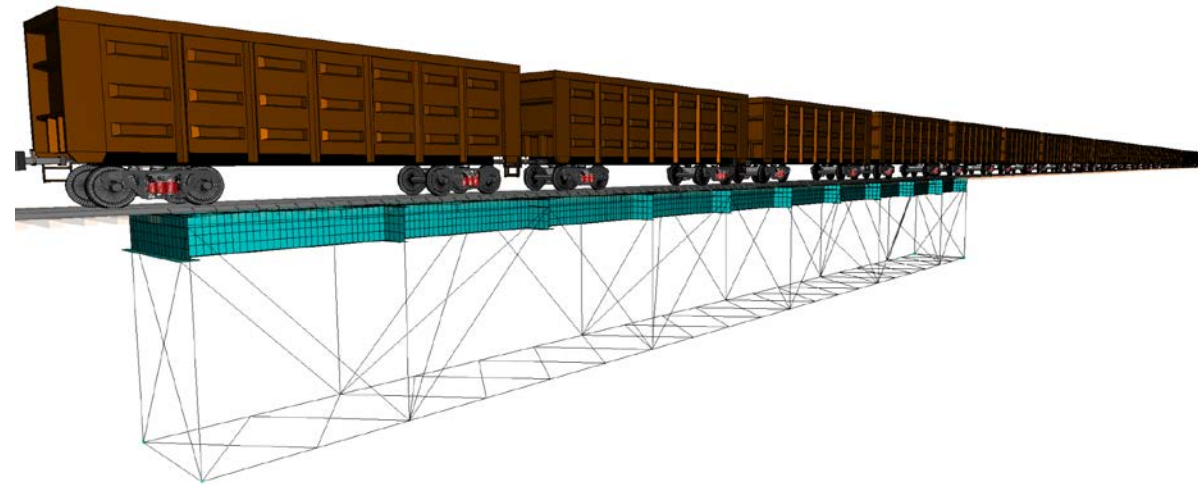
Содержание:

1. Цели и объекты исследования
2. Метод исследования
 1. Моделирование системы «пролетное строение – верхнее строение пути – подвижной состав» в программном комплексе «Универсальный Механизм»
 2. Факторы, влияющие на характер взаимодействия подвижного состава и пролетного строения
3. Результаты исследования
 1. Оцениваемые показатели
 2. Динамика пролетного строения и экипажей подвижного состава
 3. Безопасные скоростные режимы движения
4. Выводы



Цели и объекты исследования

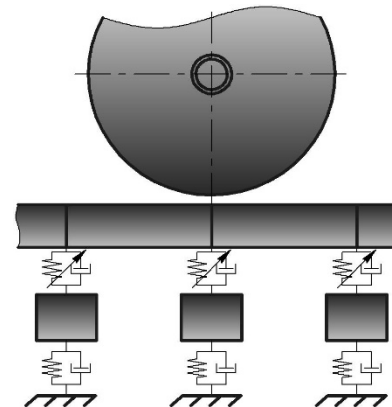
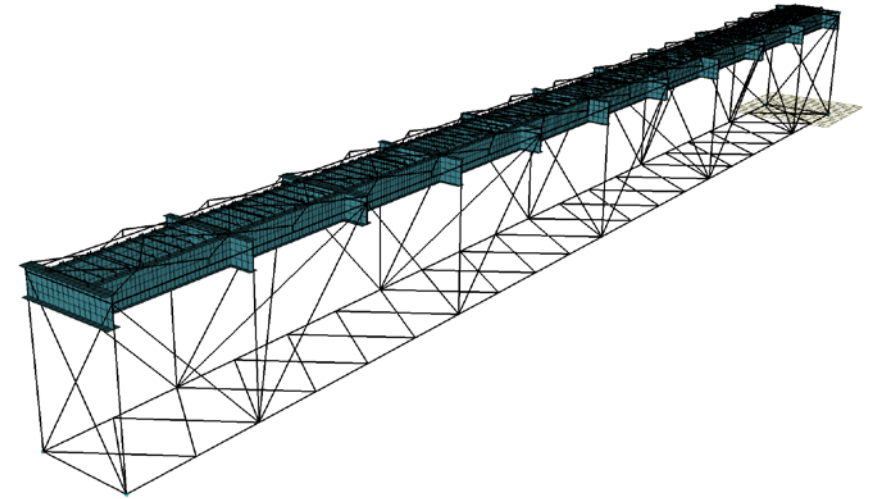
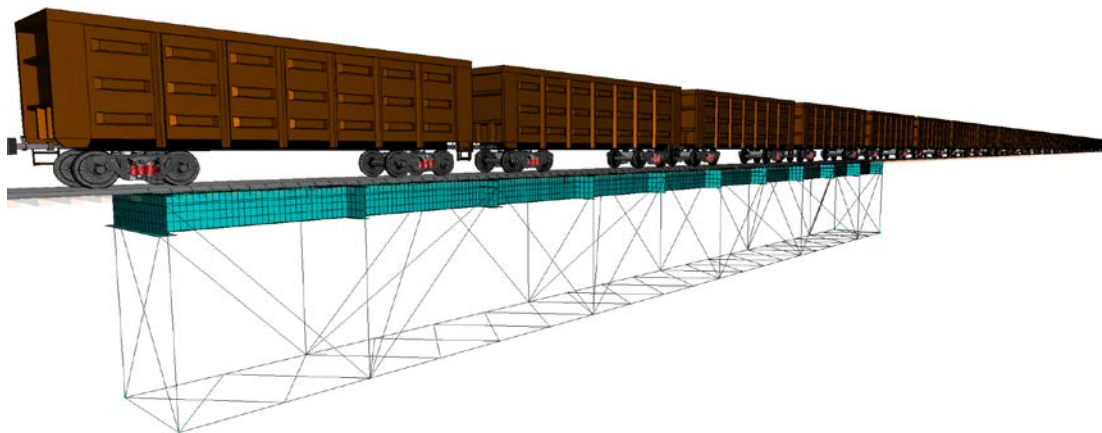
1. Определение амплитуды поперечных колебаний пролетного строения
2. Влияние колебаний пролетного строения на безопасность движения подвижного состава





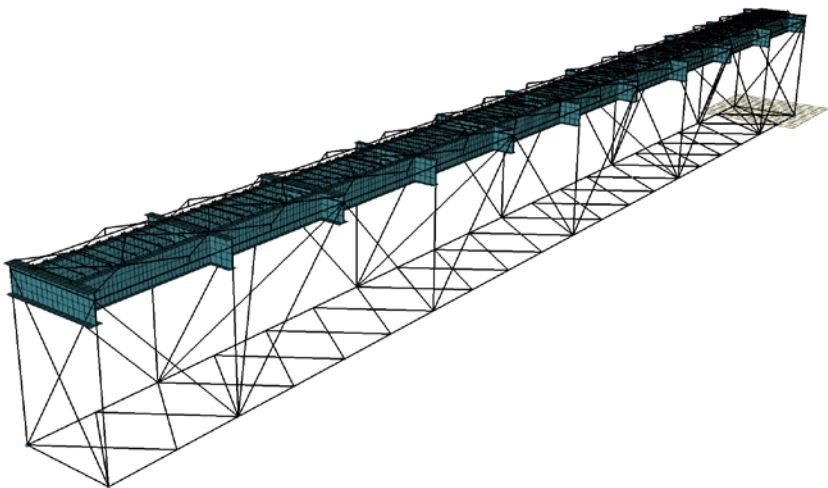
Моделирование системы «пролетное строение – верхнее строение пути – подвижной состав»

- Пространственная модель пролетного строения
- Модель верхнего строения пути
- Модель подвижного состава

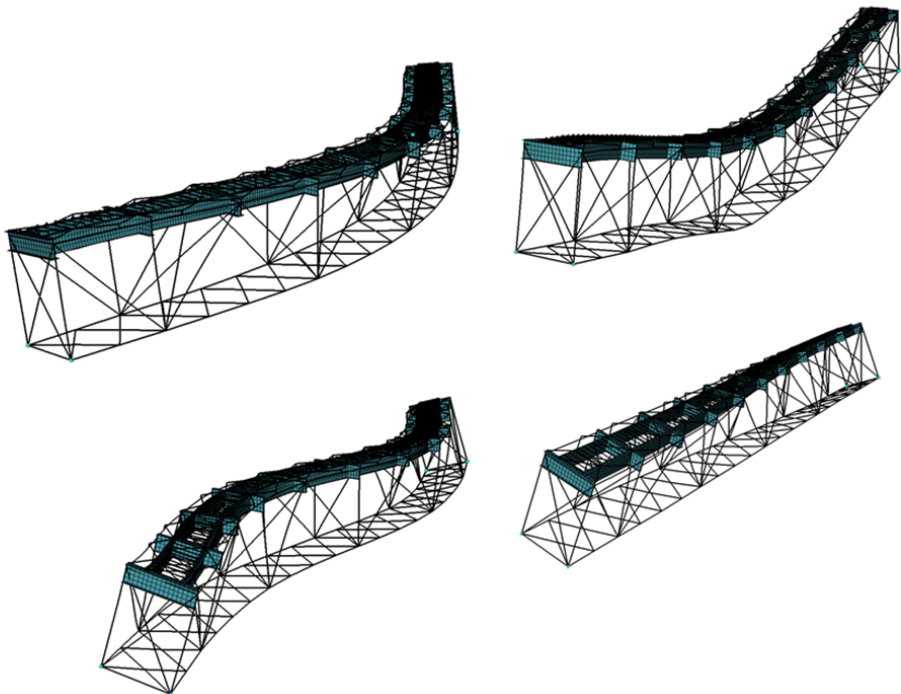




Моделирование пролетного строения. Метод Крэйга - Бэмптона



Преобразованные формы колебаний



$$\bar{u} = H\bar{w}$$

\bar{u} – вектор узловых перемещений, N x 1

H – матрица модальных координат, N x k

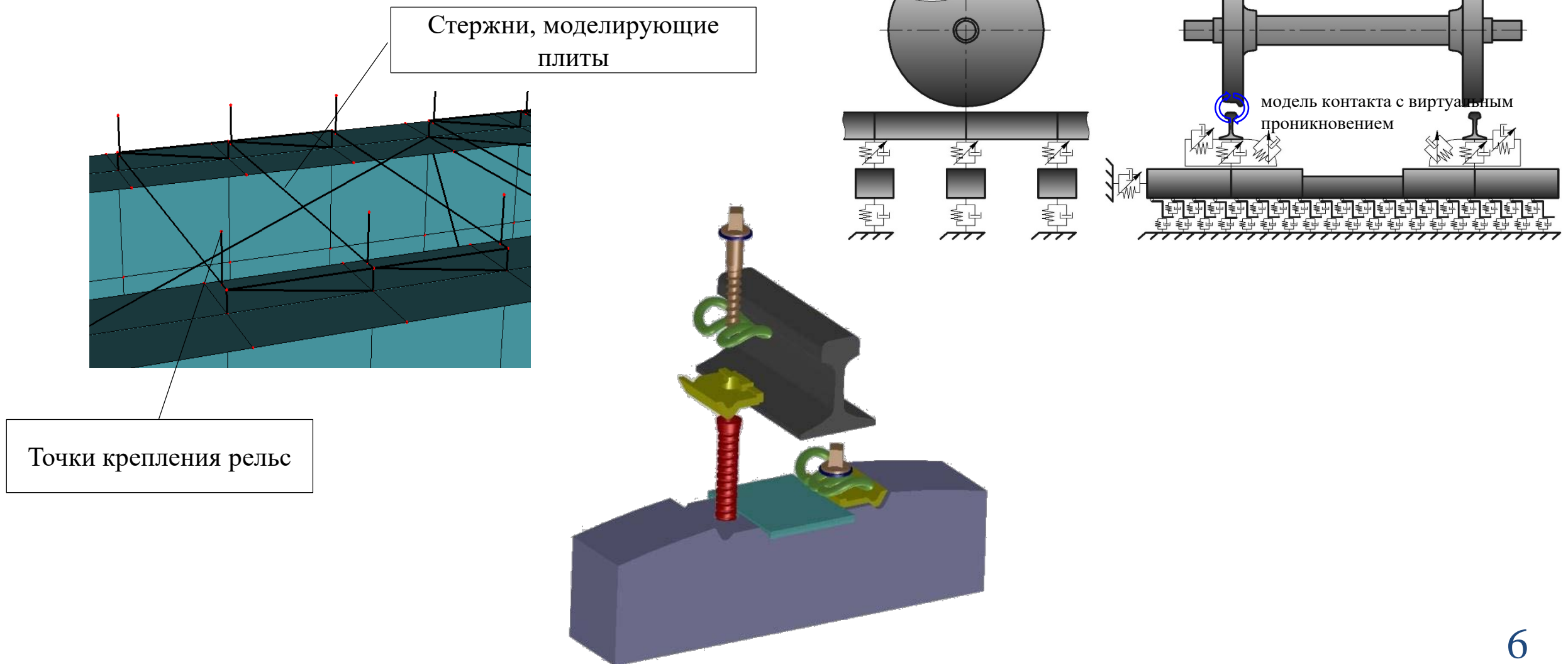
\bar{w} – вектор модальных координат, k x 1

Параметр, Размерность	Физический смысл	Величина
L, м	Длина пролета	55
m0, тс/м	Погонный вес	6.1
f1, Гц	Частота поперечных колебаний	2
ζ, %	Коэффициент демпфирования	0.5
N	Количество форм	168 + 24 = 192



Моделирование верхнего строения пути

Упругий путь – конечно – элементная аппроксимация 6 ДУ в частных производных, описывающих колебания балки Тимошенко.





Моделирование подвижного состава

Экипаж – набор твердых тел, соединенных между собой силовыми элементами.

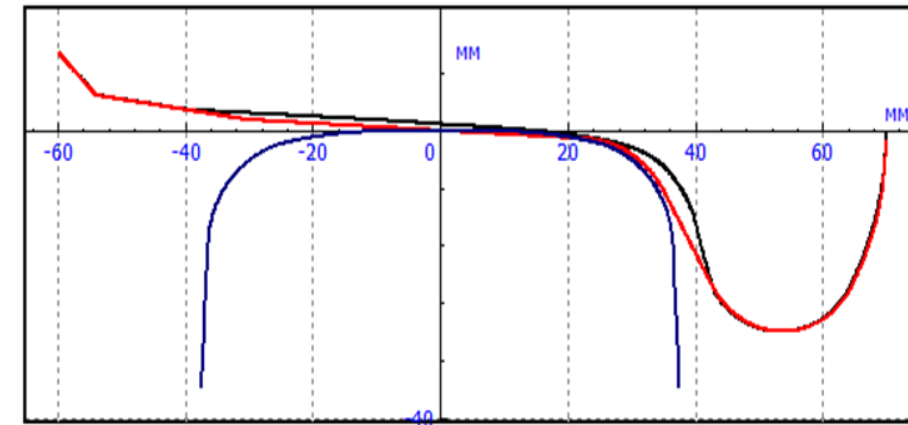
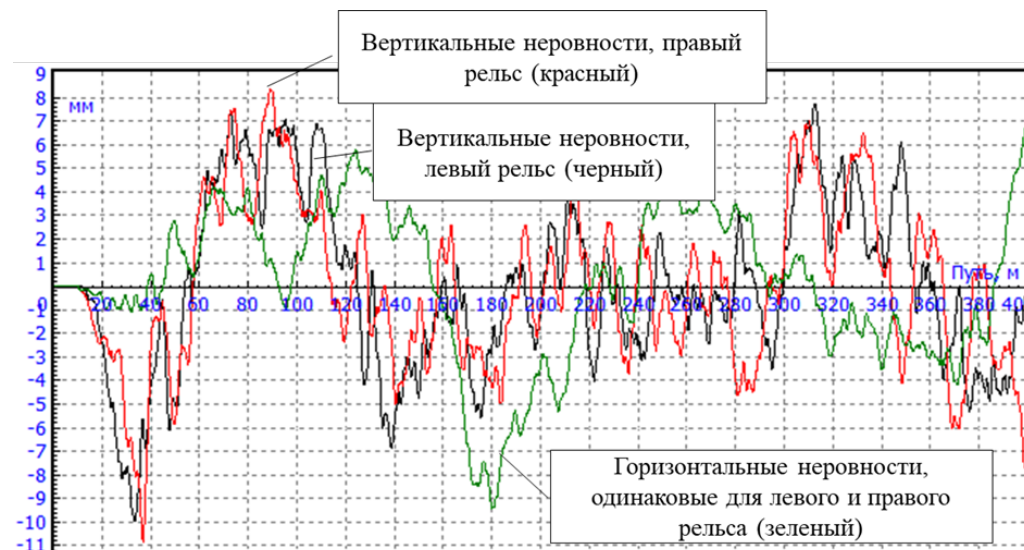
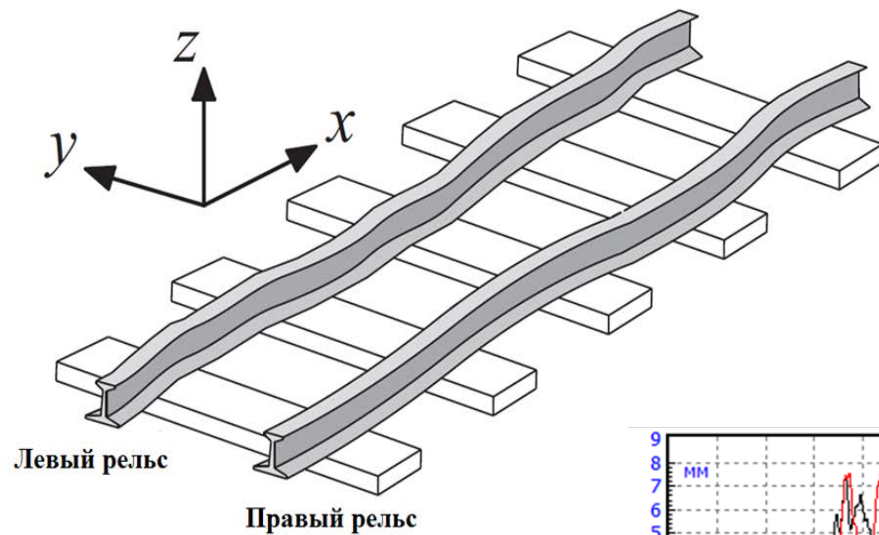
Параметр, Размерность	Физический смысл	Величина
Лв, м	Длина по осям автосцепок	13.92
тв, тс/м	Погонный вес	1.83
fб.к., Гц	Частота колебаний верхней боковой качки	2.42
fп, Гц	Частота колебаний подпрыгивания	4.89
Лп.с., м	Общая длина поезда	320.16





Факторы, учтенные в исследовании

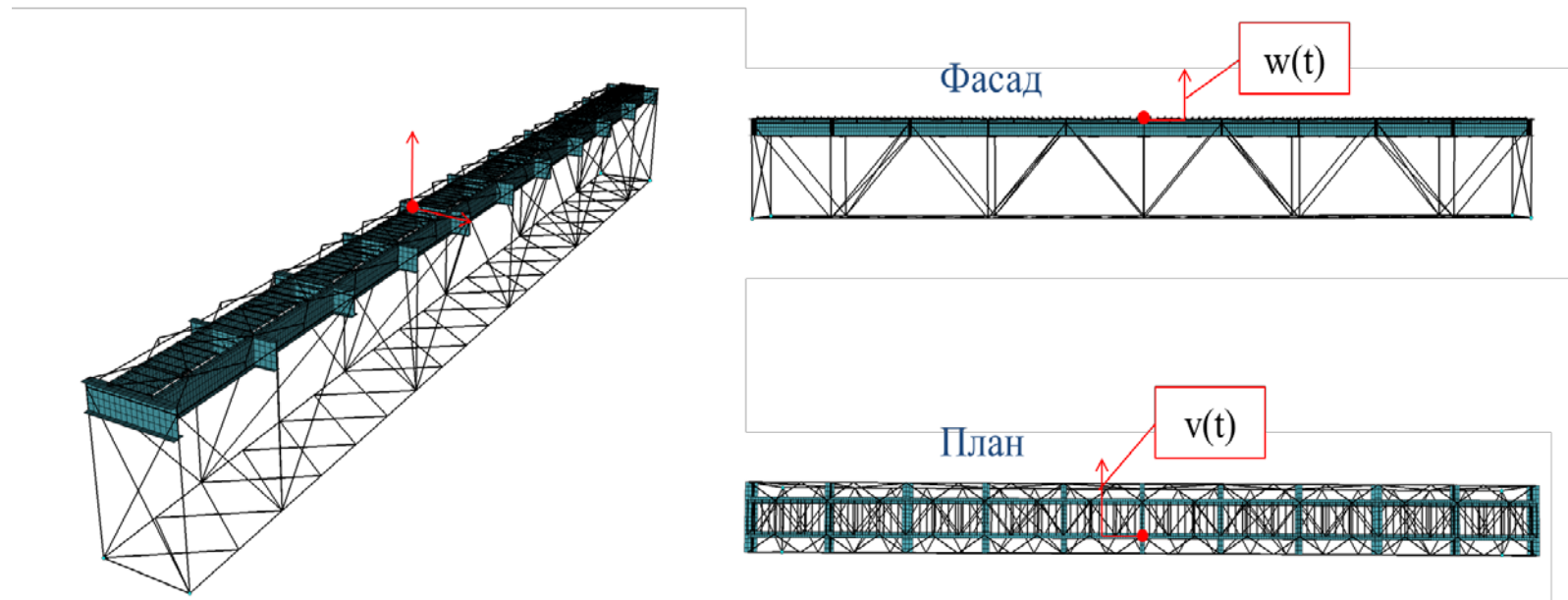
- Скорость движения подвижного состава: $V = 40 - 120$ км/ч
- Износ профилей колес
- Вертикальные и горизонтальные неровности пути
- Упругие и инерционные характеристики пролетного строения





Оцениваемые показатели. Динамика пролетного строения

Фиксировались вертикальные и горизонтальные колебания верхнего листа продольной балки в середине пролета





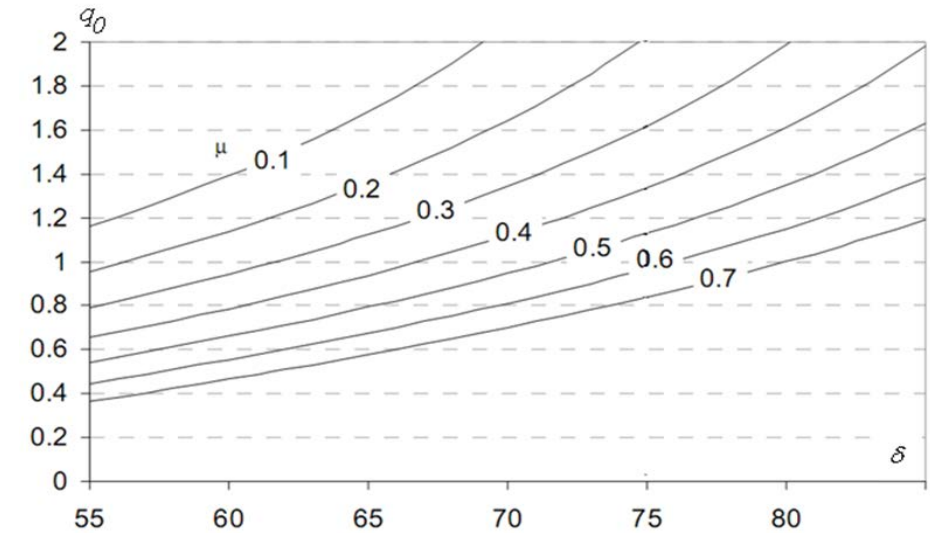
Оцениваемые показатели. Анализ безопасности движения

Коэффициент динамики колесо - рельс

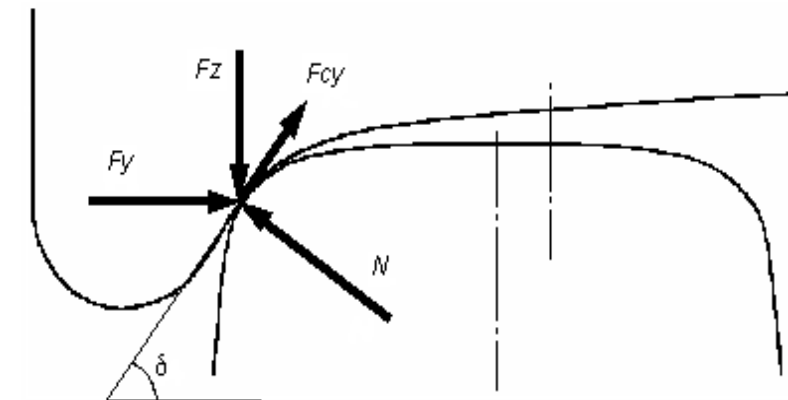
$$K_D = \frac{F_Z^{\text{дин}} - F_Z^{\text{ст}}}{F_Z^{\text{ст}}} \geq [K_D] = -0.9$$

- $K_D = -1 \Rightarrow$ вертикальный отрыв
- В EN 14067 – 6 – «wheel unloading»
- $\frac{\Delta Q}{Q_0} \leq 0.9$

Критерий Надаля



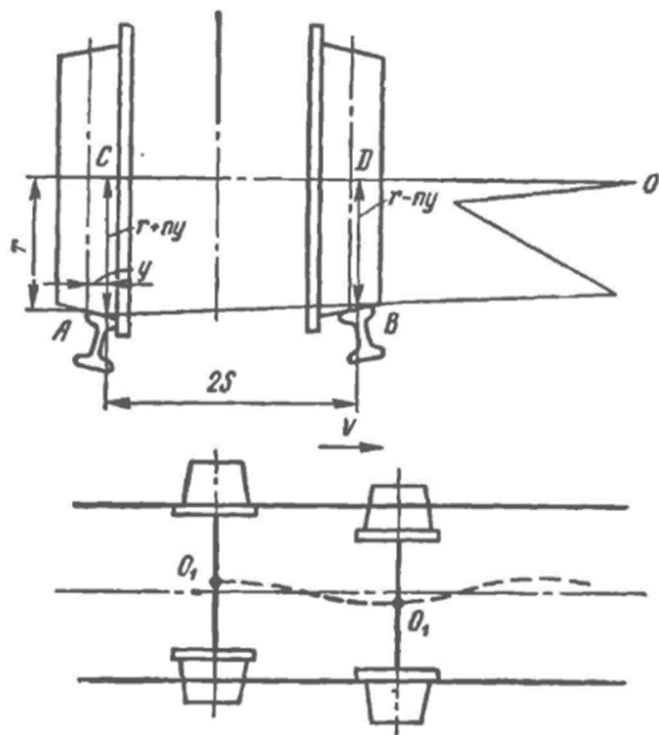
$$\frac{F_y}{F_z} \leq [q_0] = 1.34$$



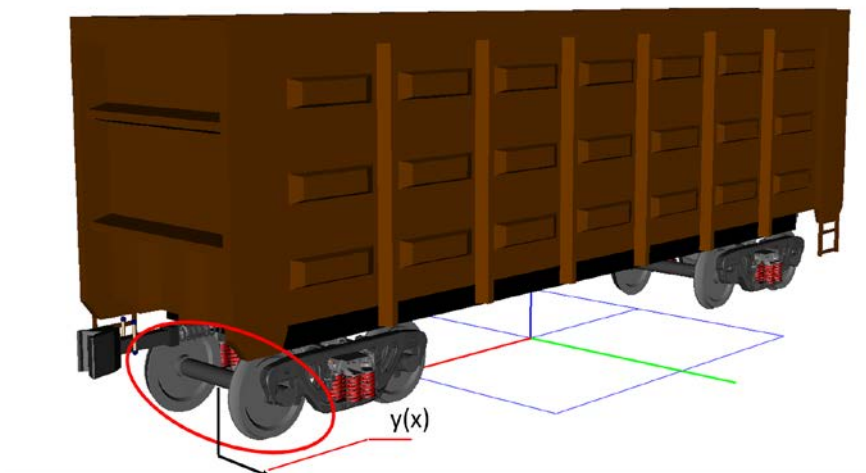


Влияние износа профилей колес на критическую скорость порожного полувагона

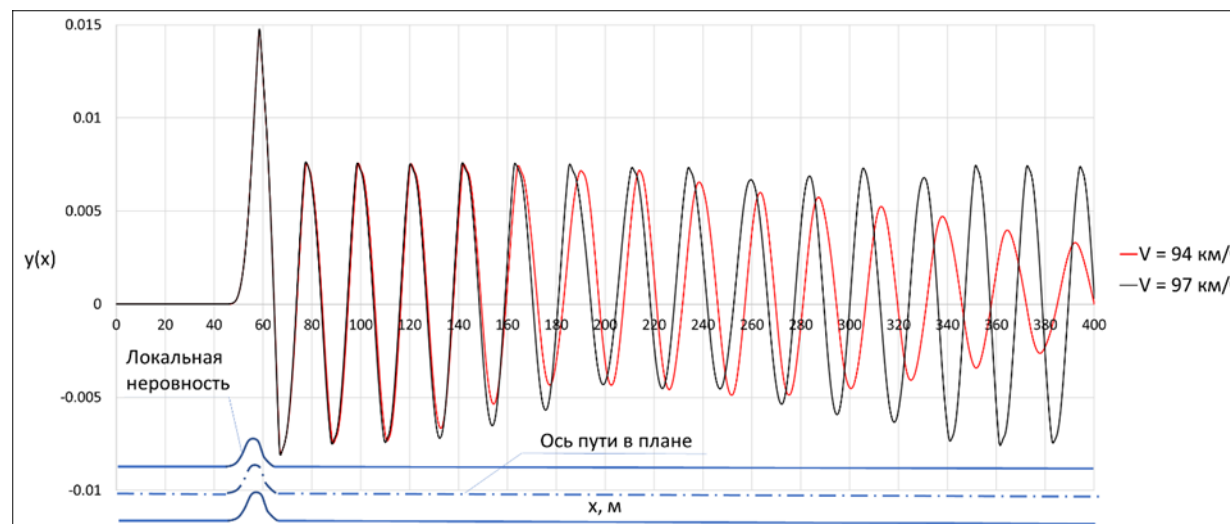
Влияние колесной пары



Определение критической скорости порожнего полувагона



V_{cr} , км/ч	Профили колес
94 - 97	Новые
40	Изношенные





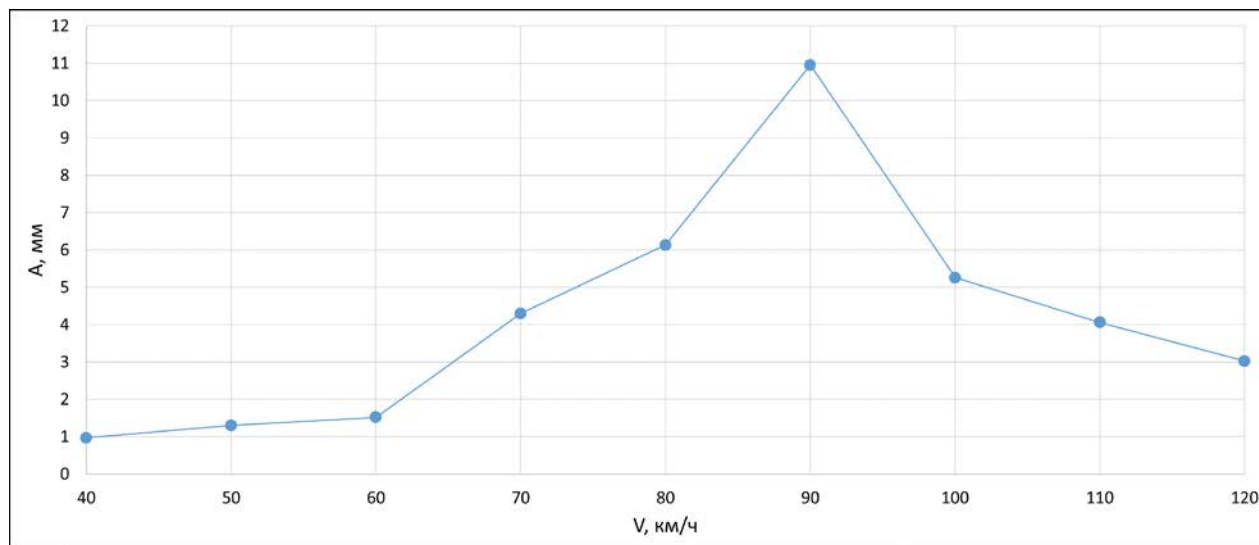
Расчетные случаи

№	V, км/ч	Путь	Профиль колес	Расчет с учетом/без учета пролетного строения
1	40	Неровный	Изношенный	С учетом
2	50	Неровный	Изношенный	С учетом
3	60	Неровный	Изношенный	С учетом
4	60	Неровный	Изношенный	Без учета
4	70	Неровный	Изношенный	С учетом
5	80	Неровный	Изношенный	С учетом
6	90	Неровный	Изношенный	С учетом
7	90	Неровный	Изношенный	Без учета
8	100	Неровный	Изношенный	С учетом
9	110	Неровный	Изношенный	С учетом
10	120	Неровный	Изношенный	С учетом

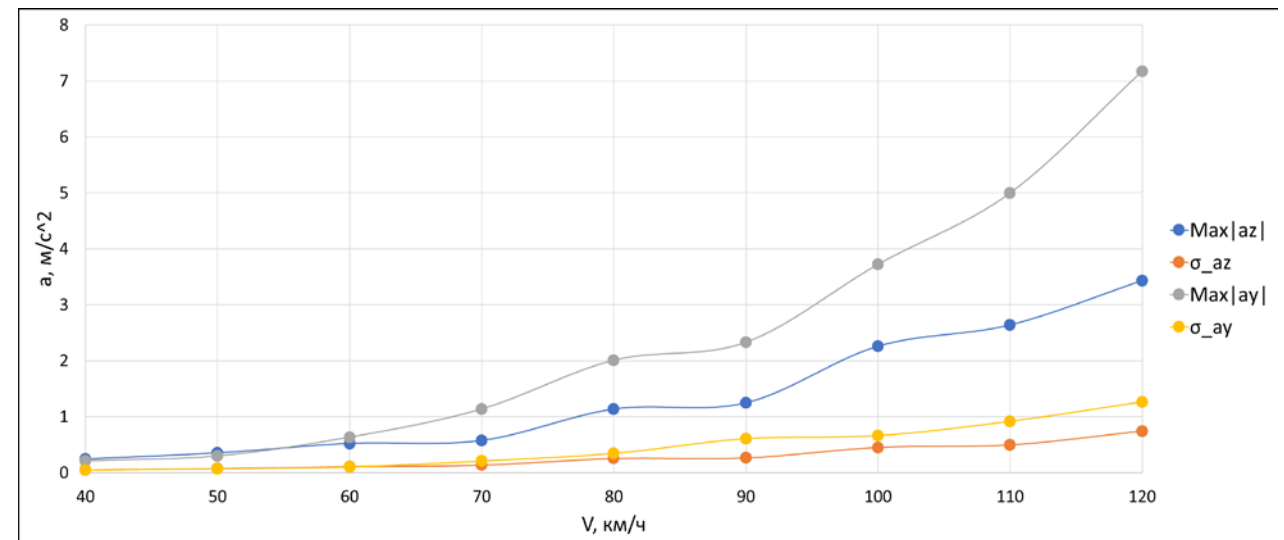


Результаты. Колебания пролетного строения

Зависимость амплитуды поперечных колебаний от скорости движения



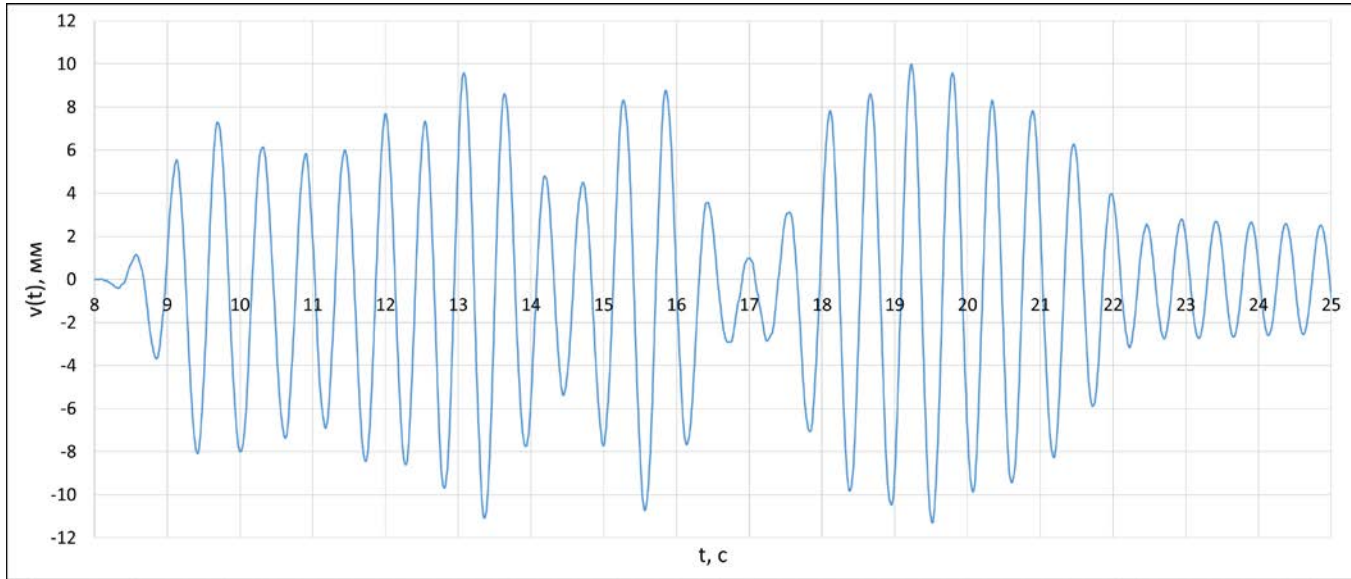
Зависимость ускорений от скорости движения



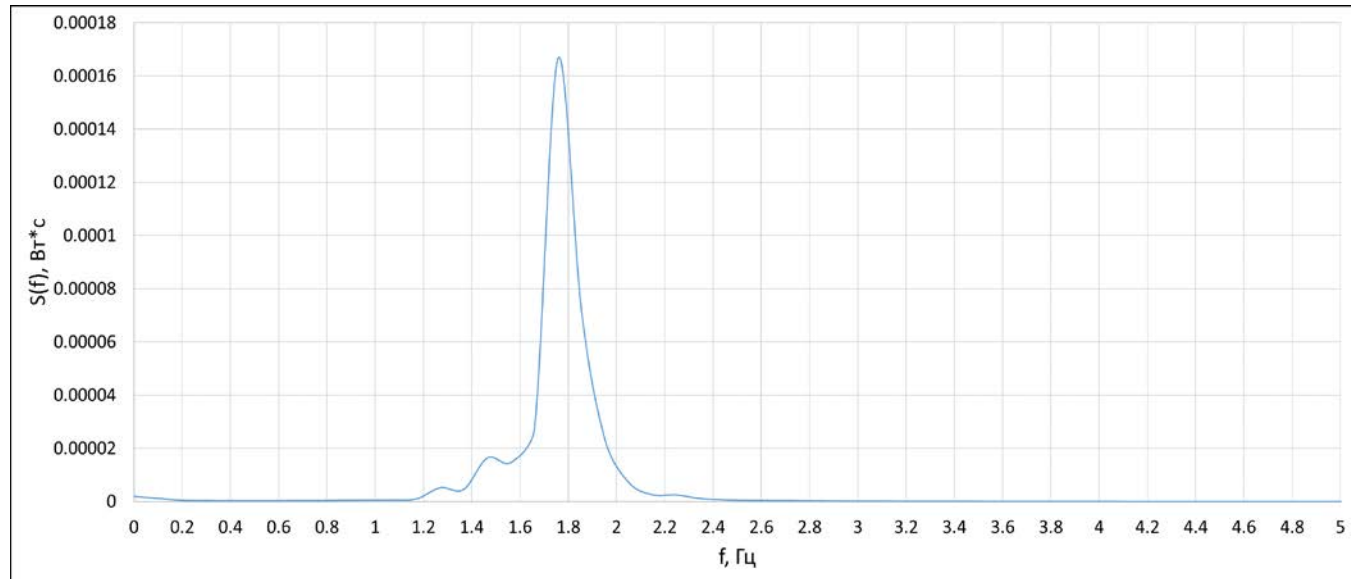


Результаты. Колебания пролетного строения

Поперечные колебания при скорости подвижного состава $V = 90$ км/ч



Спектральная плотность поперечных колебаний при $V = 90$ км/ч



Период колебаний пролетного строения при движении по нему подвижного состава увеличивается:

$$T_p = T_0 \sqrt{1 + \frac{m_B}{m_0}} = 0.5 \sqrt{1 + \frac{1.8}{6.1}} = 0.57 \text{ с}$$

ƒ, Гц	Частота колебаний
2	Незагруженного ПС
1.76	Загруженного ПС



Результаты. Безопасность движения подвижного состава

График критерия Надаля, полученный при $V = 90$ км/ч

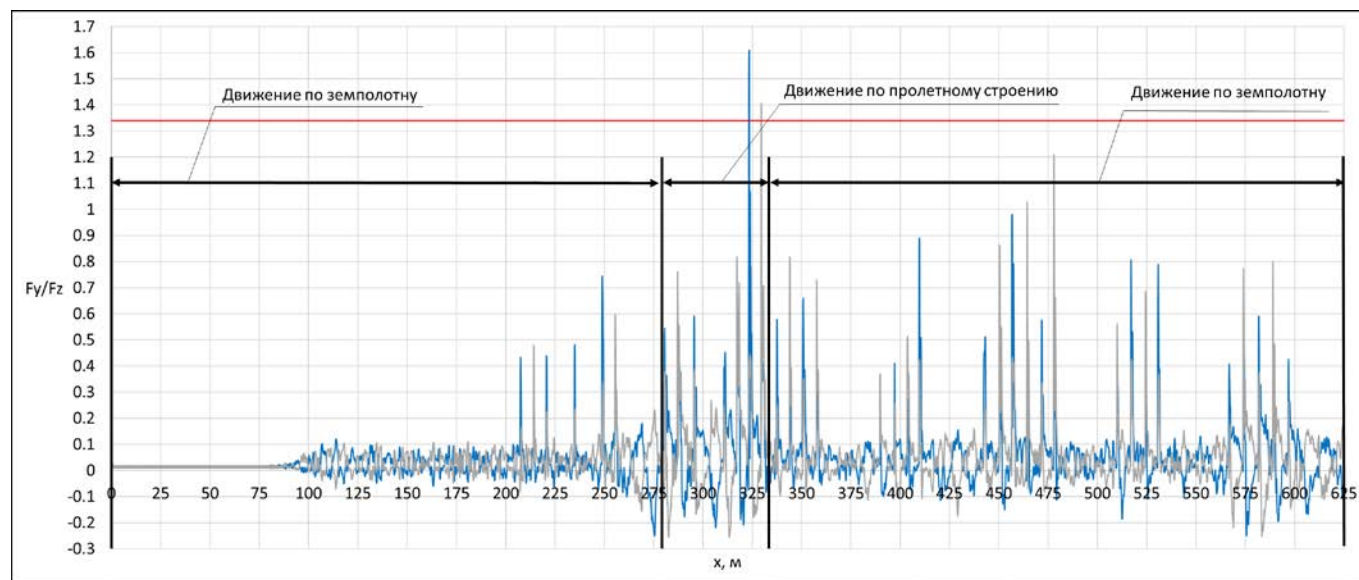
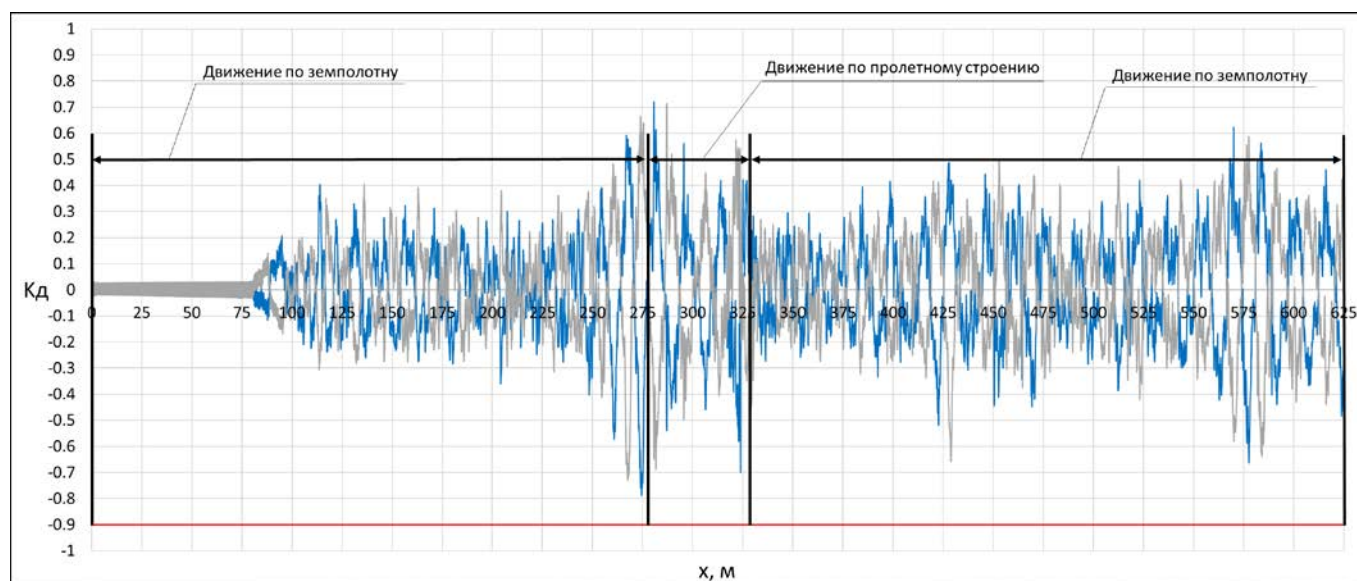


График коэффициента динамики колесо - рельс, полученный при $V = 90$ км/ч

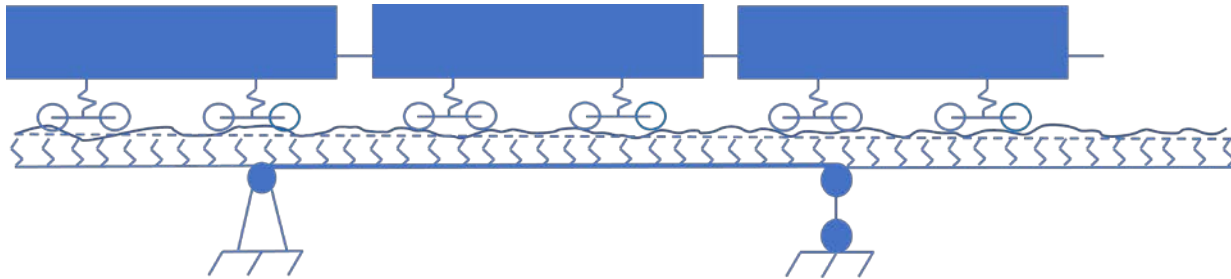




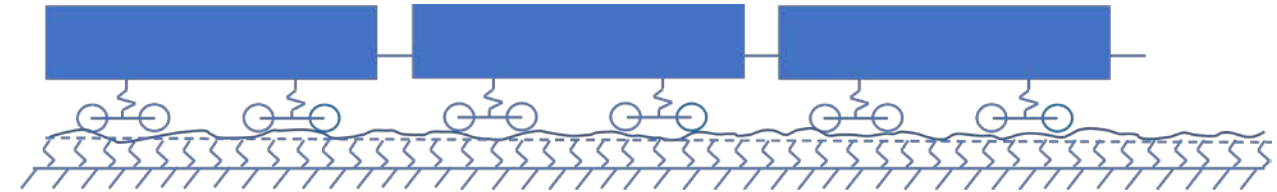
Результаты. Влияние колебаний пролетного строения на безопасность

ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

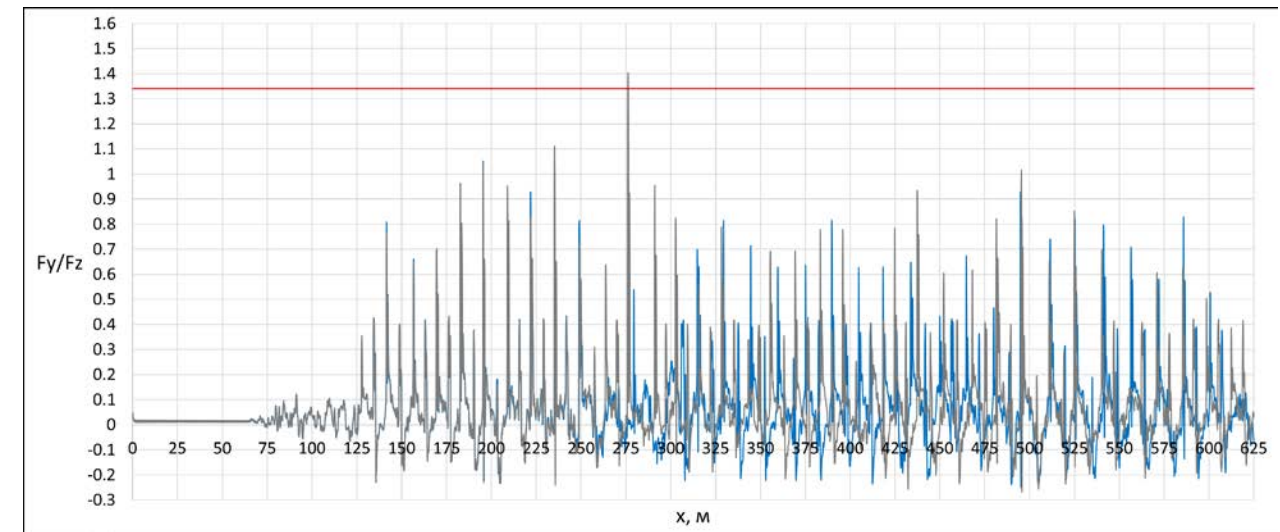
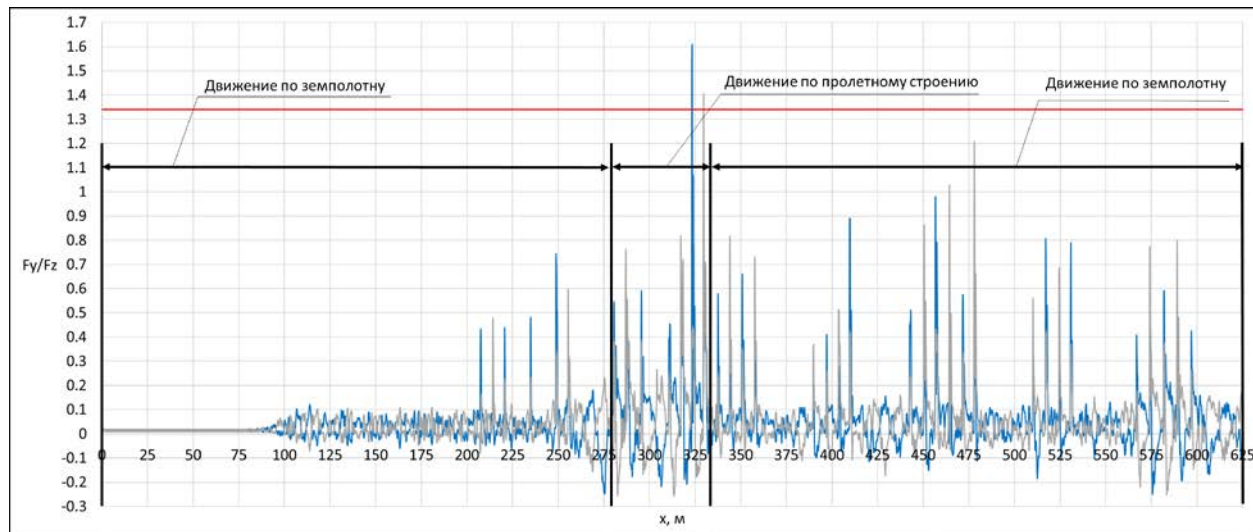
Расчет с учетом пролетного строения



Расчет без учета пролетного строения



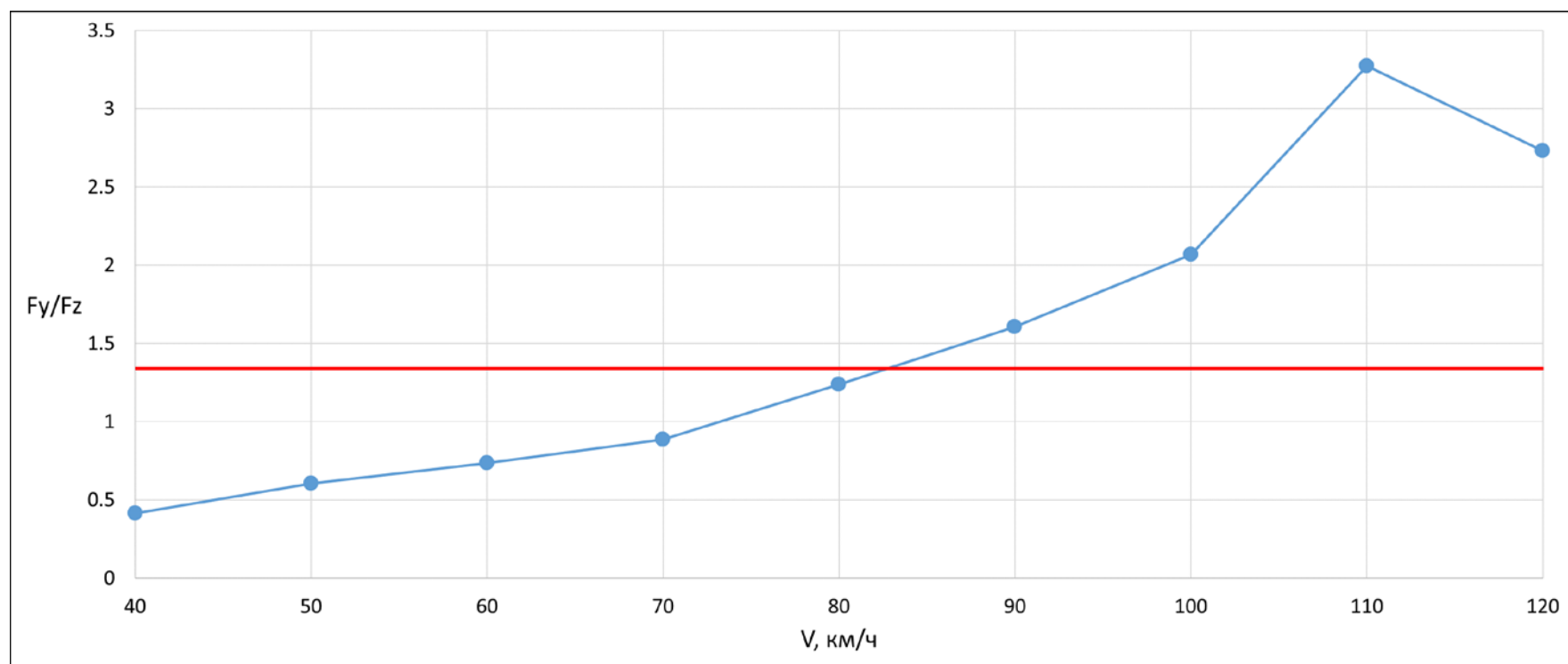
Графики критерия Надаля, полученные в расчетах $V = 90$ км/ч





Результаты. Безопасные и небезопасные скоростные режимы

В условиях заданных путевых неровностей и износа колес, а также жесткости и массы пролетного строения, движение порожних полувагонов можно признать безопасным при скоростях не выше 80 км/ч.





Выводы

1. При движении по пути удовлетворительного состояния грузовых порожних полувагонов со среднеизношенными профилями колес без учета ветрового и сейсмического воздействий движение со скоростью до 80 км/ч безопасно. При скоростях движения свыше 80 км/ч фиксируются превышения допускаемых значений как при движении по земполотну, так и по пролетному строению. Возникает опасность схода.
2. При максимальной установленной для грузового подвижного состава скорости 90 км/ч зафиксированы резонансные поперечные горизонтальные колебания пролетного строения с амплитудой 11 мм, вызванные совпадением собственной частоты изгибных горизонтальных колебаний загруженной конструкции и частоты поперечных ударов колес вагонов о рельсы, являющихся следствием неустойчивости движения (виляния вагонов).
3. Расчетным путем показана недопустимость движения грузового подвижного состава с порожними вагонами на тележках модели 18 – 100 без модернизаций или полностью порожнего состава со скоростью 90 км/ч и более, как по пути на земполотне, так и на пролетном строении.
4. Влияние упругих и инерционных свойств исследуемого пролетного строения со сквозными фермами $L = 55$ м на безопасность подвижного состава в условиях движения с заданным состоянием пути, износа колес и скоростным диапазоном можно оценить в 15%.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !!!

Н. В. Семейко, Старший инженер

Email: semeyko@giprosm.ru

Тел.: +7-916-105-25-21



**ИНСТИТУТ
ГИПРОСТРОЙМОСТ**
основан в 1945