

УДК 625.032.07

**ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЯКОСТЕЙ ВАГОНА З ПНЕВМАТИЧНИМИ  
РЕСОРАМИ**

**Магістрант К.І. Мартинов**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ВАГОНА С  
ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ РЕССОРАМИ**

**Магистрант К.И. Мартынов**

**RESEARCH OF DYNAMIC INTERNALS OF CARRIAGE WITH PNEUMATIC SPRINGS**

**Master student K.I. Martynow**

*У статті наведено результати комп'ютерного моделювання динаміки вагона, який обладнано системою пневматичного ресорного підвішування. Досліджено вплив параметрів системи на затухання вертикальних коливань кузова вагона.*

***Ключові слова:** вагон, динаміка, пневматична ресор.*

В статті приведені результати комп'ютерного моделювання динаміки вагона, котрий обладнаний системою пневматического ресорного підвешивання. Исследовано влияние параметров системы на згасання вертикальних коливань кузова вагона.

**Ключевые слова:** вагон, динаміка, пневматическая ресора.

In article results of computer modelling of dynamics of the car equipped with pneumatic spring suspension are resulted. Influence of parameters of system on the damping of vertical oscillations of the car body.

**Key words:** carriage, dynamic, pneumatic spring.

**Вступ.** Провідне місце залізниці, як ефективного транспорту для перевезень пасажирів і вантажів, не підлягає сумніву.

Одним з важливих моментів стосовно оновлення залізниці є підвищення швидкості руху потягів. Це можна вирішити двома шляхами, один з яких, витратний, полягає у побудові нових, залізничних колій для швидкісного руху потягів, а другий, менш витратний, потребує створення швидкісного транспорту, зокрема вагонів, які мають можливість рухатися зі швидкістю до 200 км/год.

**Постановка проблеми.** Для поширених металевих систем ресорного підвешивання транспортних засобів характерний ряд недоліків: обмеженість

величини статичного прогину, необхідність установлення паралельно пружним елементам гасників коливань, слабка фільтрація вібрацій і шумів, обумовлених взаємодією коліс з колійною структурою.

Характеристики металевого ресорного підвешивання накладають значні обмеження на показники комфортності для пасажирів вагонів. Тому для вагонів, швидкість руху яких не задовольняє сучасні вимоги, особливу актуальність набуває проблема створення принципово нових систем ресорного підвешивання.

**Аналіз досліджень.** Одним з перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є застосування візків, обладнаних пневматичним ресорним підвешиванням (рис. 1).

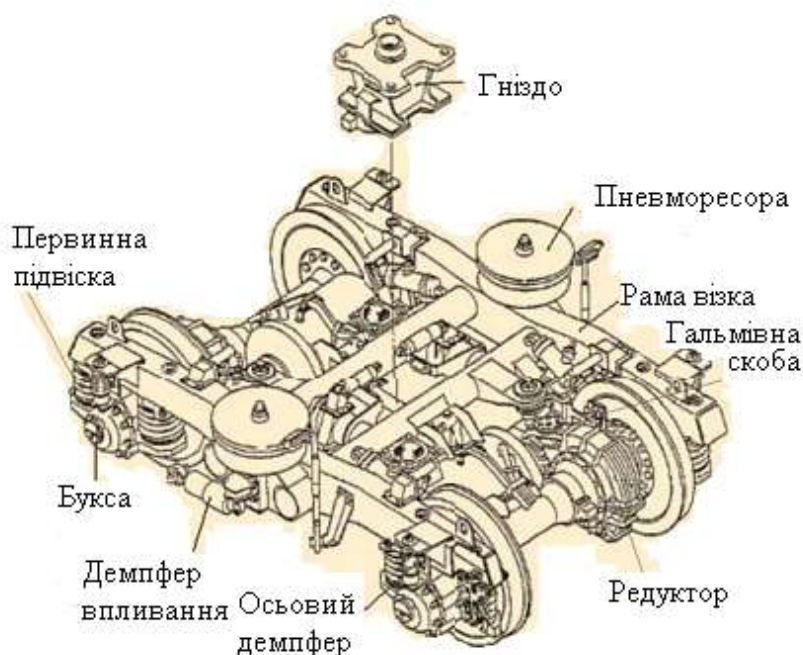


Рис. 1. Візок потяга JR Central модель 300

Цей візок на пневматичному ресорному підвішуванні використовується на багатьох швидкісних потягах у Європі, аналогічну конструкцію пневматичного підвішування має візок у потягах серій E1, E2 та інших, який експлуатується на ділянці Нагано у Японії [1].

Основу візка складає Н-подібна рама, що складається з поздовжніх балок коробчастого перерізу, які зварено з 8-міліметрових сталевих листів. Балки з'єднано поперечними сталевими трубами з товщиною стінок 12 мм. Колеса мають діаметр 860 мм, вони напресовані на порожнисті осі. Букси виготовлені з алюмінієвого сплаву. Це дозволило створити візок масою 6600 кг з

необресореною масою 3500 кг. Високу якість динаміки руху забезпечує використання букс-балансирів, зв'язаних з рамою візка пружними ресорами, вертикальними та поздовжніми гасниками коливань і пневматичними ресорами, які розміщено у центральній (кузовній) ступені підвішування.

Аналогічні системи пневматичного ресорного підвішування широко використовуються на залізничному транспорті за кордоном, бо забезпечують високий комфорт для пасажирів.

На рис. 2 наведено типову схему пневматичного ресорного підвішування однієї сторони візка вагона.

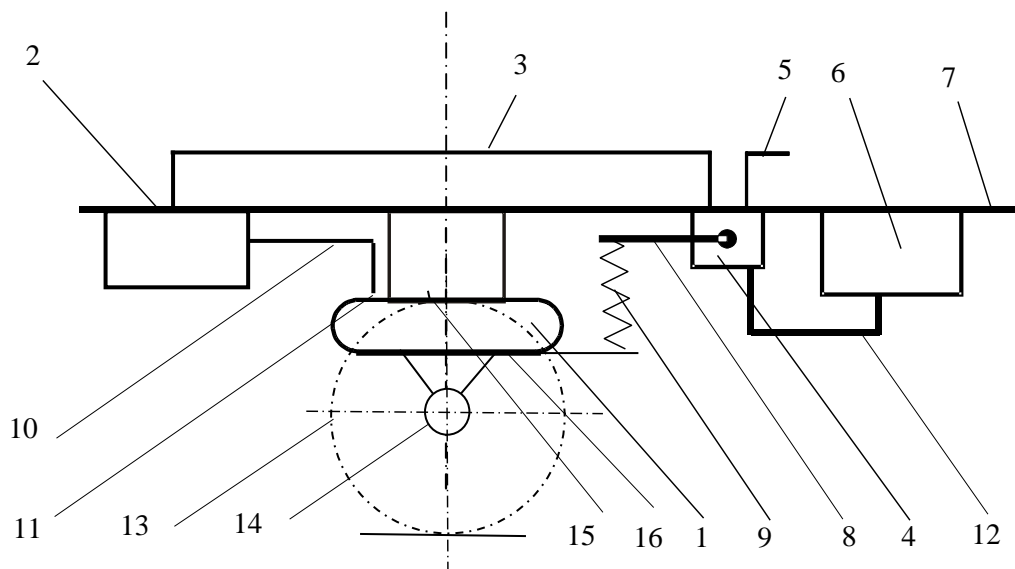


Рис. 2. Схема пневматичного ресорного підвішування:

1 – пневматична ресора; 2 – додатковий резервуар; 3 – трубопровід; 4 – регулятор положення кузова (РПК); 5 – патрубок випуску повітря в атмосферу; 6 – компресор; 7 – рама кузова транспортного засобу; 8 – важіль привода; 9 – пружина привода РПК; 10 – трубопровід; 11 – дросель; 12 – трубопровід; 13 – колесо; 14 – букса; 15 – верхнє днище пневморесори; 16 – нижнє днище пневморесори

Система пневматичного підвішування складається з пневморесори 1, з'єднаної з додатковим резервуаром 2 трубопроводом 3, що містить дросель 11. До регулятора положення кузова (РПК) 4 через патрубок 12 підводиться стиснуте повітря від

компресора 6, а через патрубок 10 він подається до пневморесори 1. Через патрубок 5 надлишок стиснутого повітря підбурюється в атмосферу. Важіль 8 привода РПК через пружину 9 з'єднаний з нижнім днищем 16 пневморесори 1, що

спирається через буксу 14 на колесо 13. На верхнє днище 15 спирається рама 7.

На початку руху рама з кузовом 7 знаходяться в нижньому положенні і пружина 9 важеля 8 РПК 4 повертає важіль 8 за годинниковою стрілкою. При цьому РПК 4 відкривається і подає стиснуте повітря через патрубок 10 до пневморесори 1 і додаткового резервуара 2. Зі збільшенням тиску повітря в пневморесорі рама з кузовом піднімаються вгору разом з РПК 4, а важіль 8 обертається проти годинникової стрілки, доки він займе горизонтальне положення. При цьому з'єднання пневморесори 1 з компресором 6 і з атмосферою припиняється і рама з кузовом 7 займають номінальне положення по висоті. Якщо рама з кузовом 7 з якоїсь причини виявляться вище, то важіль 8, обертаючись далі проти годинникової стрілки, з'єднає пневморесору 1 через РПК 4 і патрубок 5 з атмосферою і відбудеться скидання зайвого повітря.

У процесі руху вагона по колійній структурі нерівності, що зазвичай мають місце, викликають вертикальні переміщення коліс 13, які призводять до деформацій пневморесор 1, а отже, до силових дій на кузов 7 і викличуть їх коливання.

Розвитку коливань запобігають шляхом розсіювання їх енергії в довкілля за допомогою гасників коливань-демпферів.

У системі пневматичного ресорного підвішування енергію коливань можна розсіяти в процесі перетікання потоку повітря між пневморесорою 1 і додатковим резервуаром 2 по трубопроводу 3, зі встановленим у ньому дроселем 11, з подальшим перетворенням енергії коливань у теплову та теплопередачу її в довкілля.

Пневморесори дозволяють отримати в стиснених габаритах значно більшу величину статичного прогину, ніж металеві, тобто реалізувати «м'яке» ресорне підвішування, щоб забезпечити наближення власної частоти коливань кузова нижче за 1 Гц.

У процесі колійних і динамічних випробувань швидкісного електропоїзда ЭР-200 було виявлено ще одно важливу перевагу пневматичного ресорного підвішування – здатність фільтрувати високочастотні вібрації, що передаються від контактів коліс з колійною структурою до кузова [2].

При такій, найбільш комфортній для людини, частоті коливань і відсутності вібрацій у неї підвищується продуктивність праці, увага, знижується стомлюваність і, крім того, підвищується надійність роботи механізмів і пристроїв вагона.

Оскільки гасники коливань, які, як правило, недостатньо надійні в експлуатації, тому продовжується пошук технічних рішень щодо пневматичного ресорного підвішування, які забезпечать розсіювання енергії коливань кузова без використання гасників коливань.

Незважаючи на значні успіхи практичного застосування, деякі питання розрахунку і проектування систем пневматичного ресорного підвішування досліджені недостатньо. Зокрема це стосується визначення раціональних параметрів пневматичної ресори і усіх елементів системи, що призначені для встановлення на вагони.

**Визначення мети.** Метою статті є дослідження динамічних якостей вагона, який обладнано системою пневматичного ресорного підвішування, і визначення її раціональних параметрів.

**Основна частина дослідження.** Для визначення раціональних параметрів системи пневматичного ресорного підвішування і їх впливу на динамічні характеристики вагона обираємо метод математичного моделювання руху вагона по рейковій колії, що має вертикальні нерівності, які збуджують коливання вагона.

Визначення раціональних параметрів системи пневматичного ресорного підвішування відбувається у процесі дослідження математичної моделі динаміки вагона із застосуванням ЕОМ.

Математичні моделі вертикальних коливань транспортних засобів на пневматичних ресорах, як одномасових системах, наведено в роботах [3, 4].

Рівняння коливань маси вагона  $m$ , що припадає на одну пневморесору (математична модель), при вимкненому РПК, має такий вигляд:

$$m \cdot \ddot{z} + K \frac{G}{f_d} \dot{z} + \frac{n(P_n + 1)F^2}{V_n + V_{др}} z = P_6,$$

де  $P_6$  – сила, що надходить від нерівностей на рейках і спрямована уздовж вертикальної осі  $z$ ;

$K$  – коефіцієнт, який визначається в процесі моделювання коливань системи;

$G$  – маса повітря, яка перетікла через дросельний отвір впродовж напівперіоду коливань;

$F_d$  – площа прохідного перерізу дросельного отвору;

$F$  – ефективна площа пневморесори;

$V_n, V_{др}$  – об'єми пневморесори і додаткового резервуара відповідно;

$N$  – показник політропи.

Першим доданком у рівнянні є сила інерції маси  $m$ , другим дисипативна сила, а третім – пружна сила, яка створюється пневморесорою. Величини тиску повітря  $P_1$  і масової витрати повітря через дросель  $G$  визначаються газотермодинамічними рівняннями [3].

Ряд рекомендацій з вибору параметрів і характеристик системи пневматичного ресорного підвішування (пневморесор, дроселів, додаткових резервуарів, сполучних трубопроводів), розроблених на основі результатів теоретичних і натурних досліджень, наведено в роботі [5].

Жорсткість пневматичного ресорного підвішування, а отже, і частота власних коливань кузова з рамою прямо пропорційні об'єму пневморесори разом з додатковим резервуаром, якщо переріз дросельного отвору складає 0,001-0,0015

ефективної площі пневморесори, яка дорівнює відношенню навантаження на неї до тиску повітря усередині неї.

При меншому перерізі дроселя його пропускна спроможність зменшується і додатковий резервуар «закривається», що різко збільшує жорсткість пневмопідвішування.

Об'єм додаткового резервуара вибирається з умови отримання необхідної частоти власних коливань і зазвичай складає не менш ніж 2,5 об'єма пневморесори.

Коефіцієнт відносного демпфірування коливань для транспортних засобів рекомендується приймати рівним 0,2-0,3. Площу перерізу трубопроводу 3 (рис. 2) рекомендується приймати в інтервалі 0,03-0,05 ефективної площі пневморесори.

Переріз трубопроводів 5 і 12 зазвичай приймають у два-три рази менше, ніж у трубопроводі 3.

Обрані таким чином параметри системи пневматичного ресорного підвішування є початковими вихідними даними для виконання досліджень коливань вагона за допомогою ЕОМ з подальшою оптимізацією або вибором їх раціональних значень.

Дослідження цієї системи диференціальних рівнянь проведено методом чисельної інтеграції в середовищі MatLab, оскільки вона містить нелінійні елементи (радикали та інше). Вихідні дані для одного з множини варіантів системи, що було досліджено, відповідно для серійного пасажирського вагона наведено в таблиці.

Власні коливання кузова вагона збуджувались при наїзді колеса на нерівність у вигляді сходинки. Вона може створюватися, наприклад, при проходженні колесом стику рейок.

У результаті розв'язання отримано осцилограми власних вертикальних коливань четвертої частини маси кузова, що припадає на одну пневморесору (рис. 3, 4, 5).

Початкові дані

$P_n$ , МПа	$m$ , т	$F$ , м <sup>2</sup>	$V_n$ , м <sup>3</sup>	$V_{др}$ , м <sup>3</sup>	$n$	$T_0$ , К
0,5	11	0,125	0,012	0,05	1,4	288

$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$C_V$ , Дж/(кг·град)	$C_P$ , Дж/(кг·град)	$R$ , Дж/(кг·град)	$K_i$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·град)	$H_i$ , м <sup>2</sup>	$\mu$	$f$ , м <sup>2</sup>
6,6	717	1000	287	1000	0,74	0,8	$13 \cdot 10^{-5}$

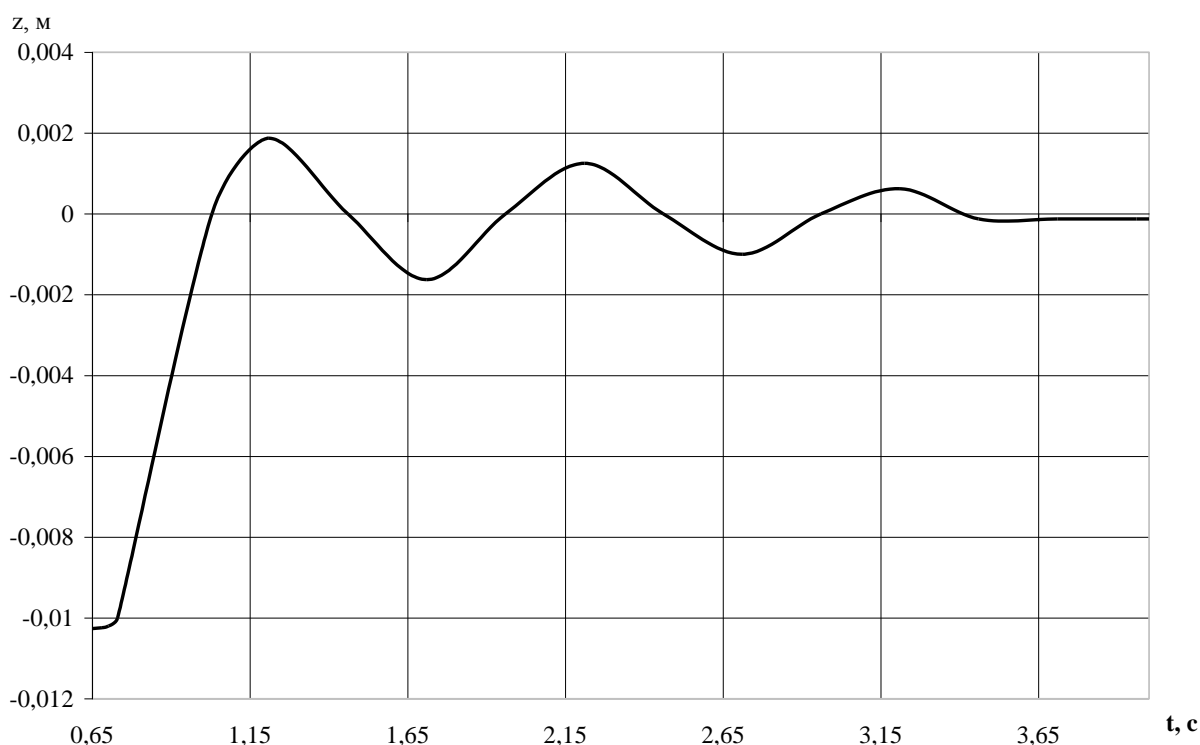


Рис. 3. Графік власних коливань маси на пневматичній ресорі при одиничному імпульсі збудження (відносно демпфірування 0,1 критичного)

Аналіз наведених графіків дозволяє зробити висновок про характер згасання власних коливань кузова на пневморесорах. На першому графіку показник демпфірування відповідав перерізу дроселя  $19 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ , на другому цей переріз було зменшено до  $13 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ . Коливання згасали швидше. На третьому графіку вони майже

відсутні, бо переріз дроселя був зменшений до  $10 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ . Отже, переріз дроселя, який відповідає другому графіку, будемо вважати раціональним.

При цьому коефіцієнт демпфірування коливань, що розрахований за формулою  $D = (\ln(A_1/A_2))/2\pi$ , дорівнює 0,25, тобто

## Рухомий склад залізниць

знаходиться в інтервалі рекомендованих амплітуди коливань.  
значень. У цій формулі  $A_1$  і  $A_2$  – послідовні

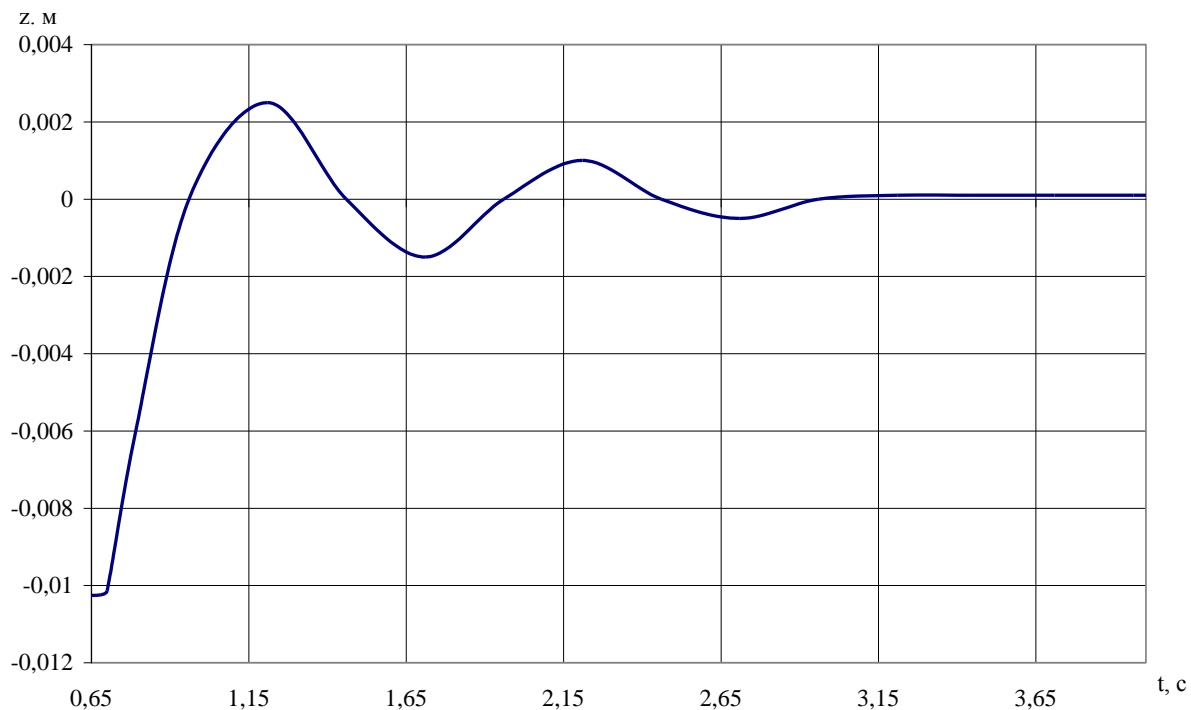


Рис. 4. Графік власних коливань маси на пневматичній ресорі при одиничному імпульсі збудження (відносне демпфірування 0,25 критичного)

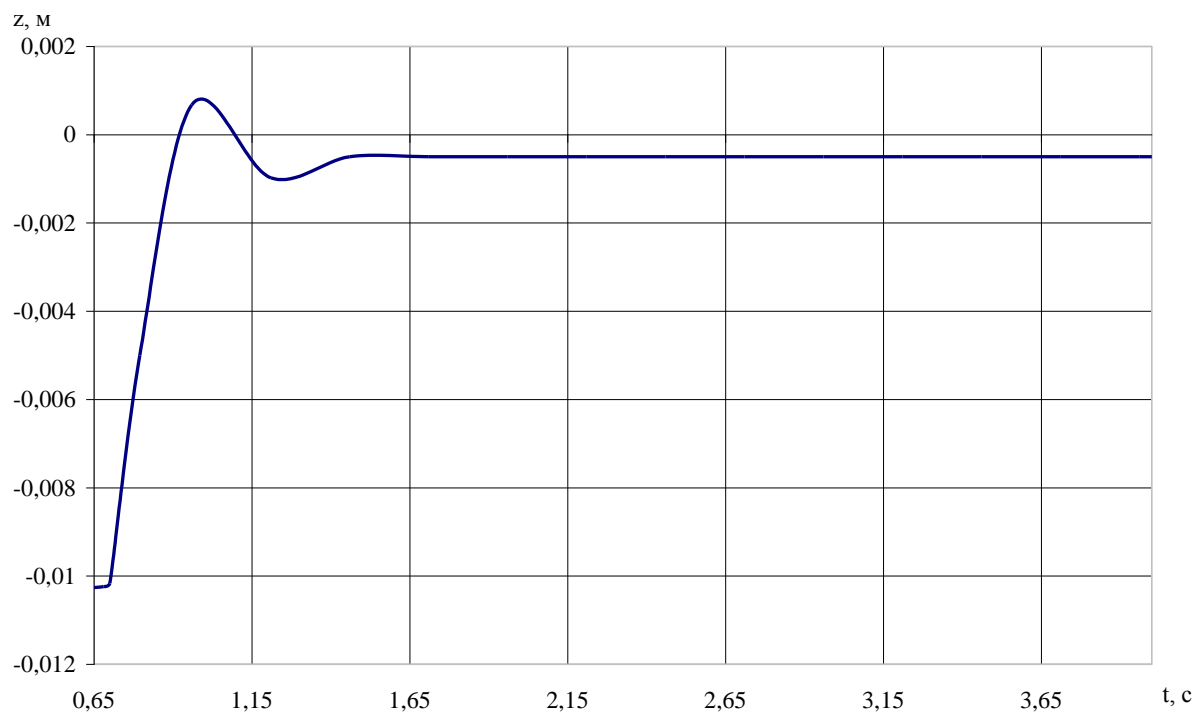


Рис. 5. Графік власних коливань маси на пневматичній ресорі при одиничному імпульсі збудження (відносно демпфірування 0,35 критичного)

Якщо отримані результати не задовольняють вимоги до динамічних характеристик ресорного підвішування, то розрахунок слід повторювати з варіюванням параметрів до отримання прийняттого результату.

**Висновки.** 1. Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень показує, що

пневматичне ресорне підвішування дозволяє вирішити завдання істотного поліпшення динаміки вагонів.

2. Запропоноване моделювання дає змогу на стадії проектування визначити раціональні параметри і характеристики системи пневматичного ресорного підвішування для вагонів.

### *Список використаних джерел*

1. Корниенко, В.В. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт [Текст] / В.В. Корниенко, В.И. Омеляненко. – Харьков: НТУ ХПИ, 2007. – Вып. 159. – С. 26-35.
2. Львов, А.А. Динамика вагонов электропоездов ЭР 22 и ЭР 200 на тележках с пневматическим подвешиванием [Текст] / А.А. Львов, Ю.С. Ромен, А.В. Кузнецов [и др.]. // Труды ЦНИИ МПС. – 1970. – Вып. 417. – 184 с.
3. Куценко, С.М. Пневматическое рессорное подвешивание тепловозов [Текст] / С.М. Куценко, Э.П. Елбаев, В.Г. Кирпичников [и др.]. – Харьков: Вища шк., 1978. – 97 с.
4. Маслієв, В.Г. Поліпшення динамічних якостей транспортних засобів шляхом застосування пневматичних ресор [Текст] / В.Г. Маслієв, А.О. Маслієв // Зб. наук праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 123. – С. 24-30.
5. Маслиев, В.Г. Параметры воздушного тракта пневматического рессорного подвешивания тепловоза 2ТЭ116 [Текст] / В.Г. Маслиев, Н.А. Лобачев // Конструирование и производство транспорта. – М.: Машиностроение, 1982. – Вып. 14. – С. 54-58.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

---

Мартинов Кирило Ігорович, магістрант кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. E-mail: [gorter10@gmail.com](mailto:gorter10@gmail.com).

Martynow Kirill, master student of department wagons Ukraine state academy of railway transport. E-mail: [gorter10@gmail.com](mailto:gorter10@gmail.com).