

**Ю.Я. Водянніков**

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»  
вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна  
Телефон: +38 (05366) 6 20 43, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

**П.О. Хозя**

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»  
вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна  
Телефон: +38 (05366) 6 20 43, E-mail: office@ukrndiv.com.ua  
ORCID: 0000-0001-8948-6032

**В.С. Речкалов**

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»  
вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна  
Телефон: +38 (05366) 6 20 43, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

**Е.В. Третьак\***

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»  
вул. І. Приходька 33, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна  
Телефон: +38 (05366) 6 20 43, E-mail: office@ukrndiv.com.ua  
ORCID: 0000-0002-3429-5674

### ОСОБЛИВОСТІ ВИПРОБУВАНЬ КОНТЕЙНЕРІВ-ЦИСТЕРН НА ВІДПОВІДНІСТЬ ВИМОГ РЕГІСТРА СУДНОПЛАВСТВА ООН

*В статті описана методика розрахункових досліджень результатів ударних випробувань контейнерів-цистерн з метою підтвердження здатності переносних цистерн і багатоелементних газових контейнерів витримувати дію удару в поздовжньому напрямку на спеціально обладнаному стенді акредитованим в системі сертифікації Регістра судноплавства України, або з використанням залізничної платформи шляхом ударної дії на платформу вагоном бойком на відповідність вимогам Регістра судноплавства ООН. Показано, що основною оцінюваною характеристикою вимог ООН є спектр ударного відклику (прискорень) для інтервальних власних частот ударного імпульсу. Розрахунок точок кривої спектру ударного відклику за результатами випробувань відтворюється в чотири етапи. Представлено схему випробувань залізничної платформи з контейнером-цистерною на ударні навантаження, при якій удар виконується таким чином, щоб при одиночному ударі крива спектру ударного відклику, отримана під час випробувань, для обох фітингів, тих, що піддалися удару, повторювала або перевищувала мінімальну криву спектру ударного відклику на всіх частотах в діапазоні від 2 Гц до 100 Гц. Наведено матриці відносних переміщень і прискорень для інтервальних власних частот ударної хвилі. Результати досліджень представлені в графічному вигляді, свідчать, що експериментальні значення спектру ударного відклику перевищують мінімальні допустимі значення; рівняння експериментальної кривої спектру ударного відклику в діапазоні*

© Водянніков Ю.Я., Хозя П.О., Речкалов В.С., Третьак Е.В., 2020

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

---

частот 0-100 гЦ описується степеневою залежністю; коефіцієнти рівняння визначалися статистичним методом максимальної правдоподібності, при цьому коефіцієнт детермінації склав 0,897, що є задовільним значенням; порівняльний аналіз показав, що експериментальна крива спектру ударного відклику в діапазоні частот 0-100 гЦ перевищує нормовану криву, що підтверджує відповідність нормативним вимогам. Запропоновано нову схему проведення випробувань з використанням вагона-цистерни з наливною рідиною, процеси в якій при ударі істотно відрізняються від інших вантажних вагонів на поздовжні ударні навантаження контейнера-цистерни. Гідроудар, що виникає при ударній дії на контейнер-цистерну та платформу, створює перевертаючий момент, який викликає зневантаження задніх фітингів.

**Ключові слова:** контейнер-цистерна, танк-контейнер, спектр ударного відклику, ударні навантаження, прискорення, коефіцієнт детермінації.

### **Ю.Я. Водяников**

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»

ул. И. Приходько, 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: +38 (05366) 6 20 43, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

### **П.О. Хозя**

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»

ул. И. Приходько, 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: +38 (05366) 6 20 43, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

ORCID: 0000-0001-8948-6032

### **В.С. Речкалов**

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»

ул. И. Приходько, 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: +38 (05366) 6 20 43, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

### **Э.В. Третьяк**

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»

ул. И. Приходько, 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: +38 (05366) 6 20 43, E-mail: office@ukrndiv.com.ua

ORCID:0000-0002-3429-5674

## ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЙ КОНТЕЙНЕРОВ - ЦИСТЕРН НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА ООН

*В статье описана методика расчетных исследований результатов ударных испытаний контейнеров-цистерн с целью подтверждения способности переносных цистерн и многоэлементных газовых контейнеров выдерживать воздействие удара в продольном направлении на специально оборудованном стенде аккредитованным в системе сертификации Регистра судоходства Украины, или с использованием железнодорожной платформы путем ударного действия на платформу вагоном бай-*

ком на відповідність вимогам Регістра судноходства ООН. Показано, що основною оцінюваною характеристикою вимог ООН є спектр ударного відклику (ускорень) для інтервальних власних частот ударного імпульсу. Розрахунок точок кривої спектра ударного відклику за результатами випробувань виконується в чотири етапи. Представлено схему випробувань залізничної платформи з контейнером-цистерною на ударні навантаження, при якій удар виконується таким чином, щоб при одиночному ударі крива спектра ударного відклику, отримана в час випробувань, для обох фітінгів, підданих удару, не перевищувала мінімальну криву спектра ударного відклику на всіх частотах в діапазоні від 2 Гц до 100 Гц. Приведено матриці відносних переміщень і прискорень для інтервальних власних частот ударної хвилі. Результати досліджень представлені в графічному вигляді, що свідчать про те, що експериментальні значення спектра ударного відклику перевищують мінімальні допустимі значення; рівняння експериментальної кривої спектра ударного відклику в діапазоні частот 0-100 гЦ описується степенною залежністю; коефіцієнти рівняння визначалися статистичним методом максимальної правдоподібності, при цьому коефіцієнт детермінації склав 0,897, що є задовільним значенням; порівняльний аналіз показав, що експериментальна крива спектра ударного відклику в діапазоні частот 0-100 гЦ перевищує нормовану криву, що підтверджує відповідність нормативним вимогам. Предложено нову схему проведення випробувань з використанням вагона-цистерни з наливною рідиною, процеси в якій при ударі суттєво відрізняються від інших вантажних вагонів на продольні ударні навантаження контейнера-цистерни. Гидроудар, що виникає при ударному впливі на контейнер-цистерну і платформу, створює опрокидуючий момент, який викликає обезгружування задніх фітінгів.

**Ключові слова:** контейнер-цистерна, танк-контейнер, спектр ударного відклику, ударні навантаження, прискорення, коефіцієнт детермінації.

**Вступ та постановка проблеми.** Міжнародні залізничні перевезення – загальною частиною світової глобальної транспортної системи. За об'ємами вантажів, що перевозяться, залізничний транспорт займає в Україні лідуючу позицію. Майже дві третини всіх українських залізниць зайнято обслуговуванням вантажних залізничних перевезень. При цьому, розвита залізнична мережа України дозволяє здійснювати прямі вантажні залізничні перевезення до Росії, Молдови, Білорусі, Угорщини, Словаччини, Румунії і Польщі. Тому українська залізнична система є важливою частиною загальноєвропейської залізниці. Через територію України проходить декілька важливих залізничних транспортних коридорів, з яких слід зазначити напрям Балтика – Чорне море і Транскаспійський міжнародний транспортний коридор, що дозволяє здійснювати залізничні контейнерні вантажоперевезення з Китаю в європейські країни. Залізничні перевезення дозволяють виробляти транспортування вантажів по всій території Європи та Азії.

Найбільш економічним і безпечним способом доставки вантажів є залізничні перевезення вантажів в контейнерах на спеціалізованих платформах. В зв'язку з цим, актуальними є питання міцності і надійності таких контейнерів.

**Мета роботи.** Проведення випробувань з метою підтвердження здатності переносних цистерн і багатоелементних газових контейнерів (далі – БЕГК) витримувати дію удару в подовжньому напрямку на спеціально обладнаному стенді акредитованим в системі сертифікації Регістра судноплавства України (далі - Регістр), або з використанням залізничної платформи шляхом ударної дії на платформу вагоном бой-

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

ком. Згідно цієї документації основною оцінюваною характеристикою є спектр ударного відклику (прискорень) для інтервальних власних частот ударного імпульсу.

**Матеріал та результати досліджень.** Останнім часом широкого поширення набуло перевезення наливних вантажів в контейнерах-цистернах.

Вимоги до контейнерів визначаються нормативною документацією Регістра судноплавства ООН [1], в якому викладаються прийняті ООН системи випробувань переносних цистерн і БЕГК на динамічний удар в подовжньому напрямку.

Прискорення контейнера визначаються акселерометрами (з мінімальним діапазоном амплітуди 200 g, з максимальною нижньою межею частот 1 Гц і мінімальною верхньою межею частот 3000 Гц), що встановлюються на бічних гранях двох сусідніх фітінгах з боку удару.

Дані про залежність «прискорення – час», отримані по кожному каналу, перетворюється в спектр ударного відклику, при цьому спектри мають бути представлені у вигляді графіка залежності еквівалентного статичного прискорення від частоти:

- максимально абсолютне значення пікового прискорення повинно реєструватися для кожного із заданих інтервалів частот;
- аналіз повинен охоплювати діапазон частот від 2 Гц до 100 Гц, а розрахунок точок кривої ударного відклику повинен відтворюватися по інтервалах частот з кроком як мінімум 1/30 октав. Кожна точка інтервалу є власною частотою, і в рамках аналізу слід використовувати декремент загасання 5%;
- при кожному співударянні реєструють подовжні сили на рамі платформи в подовжньому напрямку, причому максимальні значення прискорення визначають на фітінгах;

Результати досліджень оцінюються по значеннях спектру ударного відклику (далі - СУВ), які мають бути не менше нормованих значень.

Розрахунок точок кривої СУВ за результатами випробувань відтворюється в чотири етапи:

На першому етапі формується матриця відносних переміщень з використанням всіх точок даних з вхідного графіка залежності «прискорення-час», яка визначається за формулою [1]:

$$\xi_i = -\frac{\Delta t}{\omega_d} \cdot \left( \sum_{k=0}^i \ddot{X}_k \cdot \exp(-\zeta \cdot \omega_n \cdot \Delta t \cdot (i-k)) \cdot \sin[\omega_d \cdot \Delta t \cdot (i-k)] \right), \quad (1)$$

На другому етапі визначається матриця відносних прискорень з використанням значень переміщень по формулі [2]:

$$\ddot{\xi}_i = 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n \cdot \Delta t \cdot \left( \sum_{k=0}^i \ddot{X}_k \cdot \exp(-\zeta \cdot \omega_n \cdot \Delta t \cdot (i-k)) \cdot \cos[\omega_d \cdot \Delta t \cdot (i-k)] \right) + \omega_n^2 \cdot (2 \cdot \zeta^2 - 1) \cdot \xi_i, \quad (2)$$

де  $\Delta t$  – тимчасовий інтервал між значеннями прискорення;

$\omega_n$  – власна частота без загасання;

$\omega_d$  – власна частота із загасанням,  $\omega_d = \sqrt{1 - \zeta^2}$  ;

$\ddot{X}_k$  – к – означення вхідних даних про прискорення;

$\zeta$  – декремент загасання,  $\zeta = 0,05$  (5 %);

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

---

$i$  – ціле число, що коливається від 1 до числа вхідних точок даних про прискорення;

$k$  – параметр, використовуваний в підсумовуванні, що змінюється від 0 до поточного значення  $i$ .

На третьому етапі фіксується максимальне значення прискорення з матриці відносних прискорень (2) для даного інтервалу частот. Це значення стає точкою кривої СУВ для даного конкретного інтервалу. Етап три повторюється для кожної власної частоти до тих пір, поки не будуть оцінено всі інтервали власних частот.

На четвертому етапі будується експериментальна крива СУВ, яка порівнюється з мінімальною нормованою кривою СУВ. Граничне значення нормованої кривої визначається за степеневою залежністю [1]:

$$\ddot{\xi}_i(\omega_n) = 1,95 \cdot \omega_n^{0,355}, \quad (3)$$

де  $\ddot{\xi}_i$  – прискорення в одиницях  $g$ ;

$\omega_n$  – власна частота, Гц.

За викладеною методикою, динамічним випробуванням піддавалася контейнер-цистерна.

Вагові і конструктивні характеристики досліджуваної контейнер-цистерни і залізничної платформи (рис.1):

- тара платформи – 22,1 т.;
- вага цистерни – 37 т.;
- діаметр котла контейнера – 2,896 м;
- Довжина контейнера – 6,058 м.

Випробування виконувалися під технічним спостереженням Регістра судноплавства України. Схему проведення випробувань на співудар представлено на рис. 2.

Під час кожного співударя реєстрація поздовжніх сил на рамі вагона-платформи та прискорення в поздовжньому напрямку виконано за допомогою вимірювальної системи, до складу якої входять: персональний комп'ютер, кабелі, підсилювач сигналів та віброперетворювачі. Обробка даних виконувалася на ЕОМ з використанням стандартного програмного математичного забезпечення статистичної обробки процесів (рис. 3).

Удар виконувався таким чином, щоб при одиночному ударі крива СУВ, отримана під час випробувань, для обох фітінгів тих, що піддалися удару, повторювала або перевищувала мінімальну криву СУВ на всіх частотах в діапазоні від 2 Гц до 100 Гц.

Аналіз осцилограм показав, що ударний імпульс є короткочасним швидко згасаючим процесом (таблиця 1).

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



Рис. 1. Платформа з контейнером - цистерною для перевезення наливних вантажів

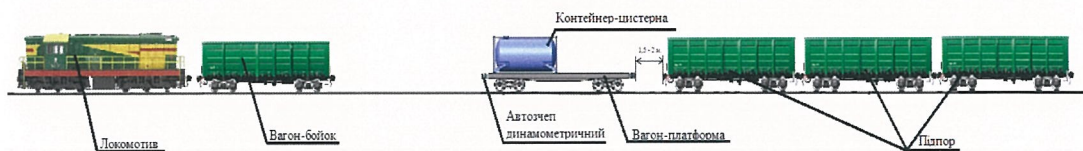


Рис. 2. Схема проведення випробувань контейнера-цистерни на ударні навантаження

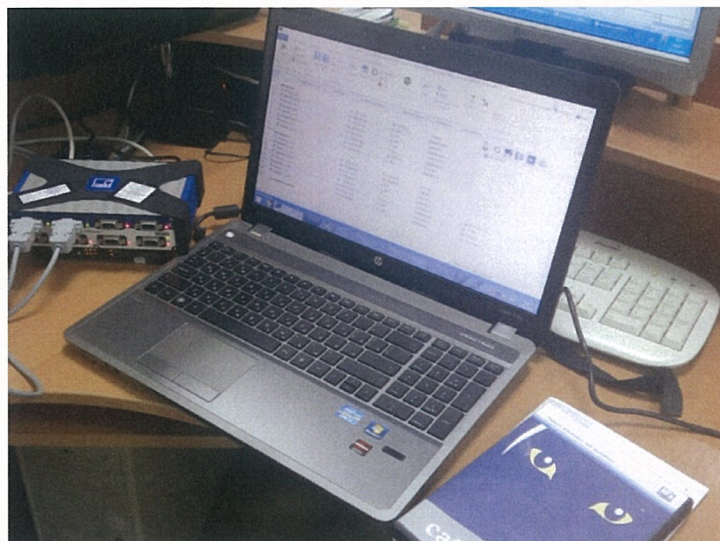
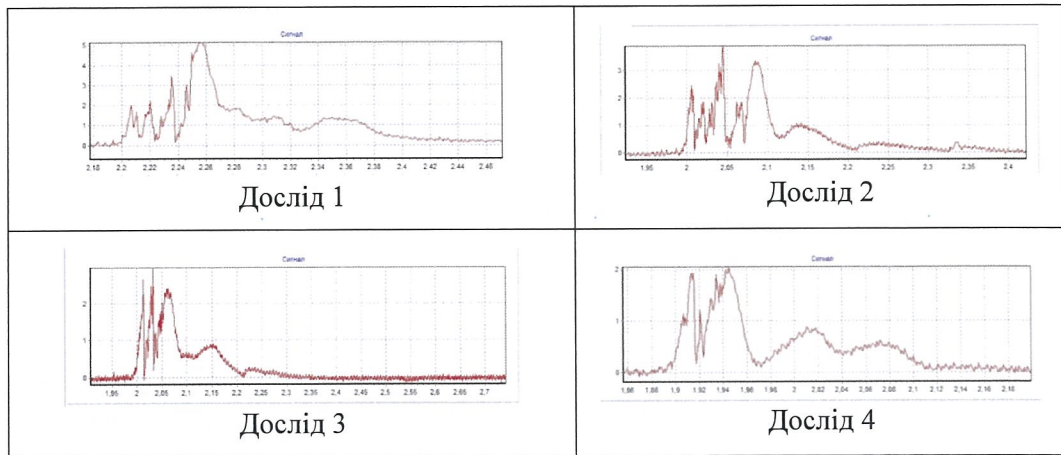


Рис. 3. Загальний вигляд виміральної системи

# РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 1. – Осцилограми ударних імпульсів



Для розрахункових досліджень, кожна осцилограма представлялася в координатах «прискорення – час» (рис. 4 - 7).

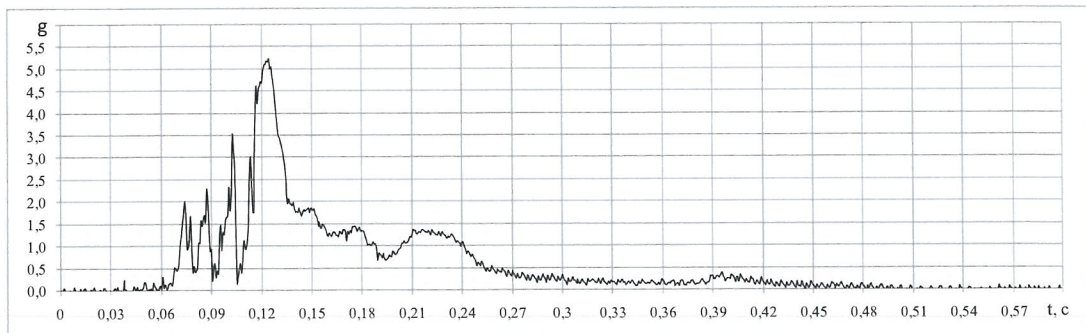


Рис. 4. Дослід 1 (швидкість – 11 км/год, сила удару – 236 т, прискорення – 5,22 g)

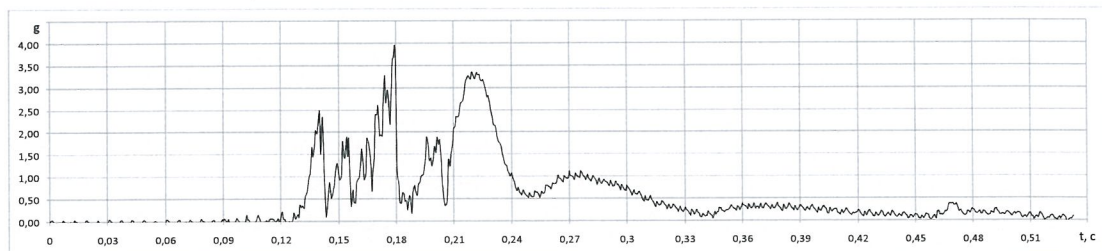


Рис. 5. Дослід 2 (швидкість – 9 км/год, сила удару – 178 т, прискорення – 3,97 g)

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

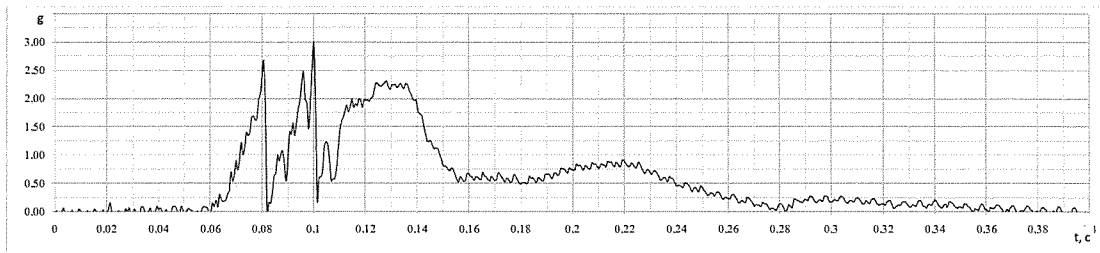


Рис. 6. Дослід 3 (швидкість – 7 км/год, сила удару – 142 т, прискорення – 2,99 g)

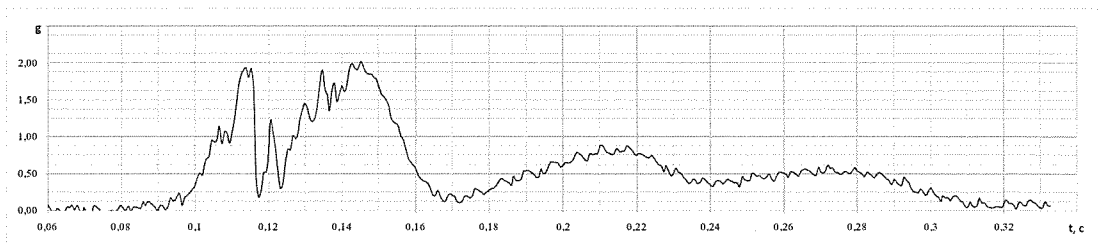


Рис. 7. Дослід 4 (швидкість – 6 км/год, сила удару – 105 т, прискорення – 2,02 g)

Кожен дослід (удар) піддавався попередній обробці, що полягає в наступному:

- представлення ударного імпульсу у вигляді окремих тимчасових ділянок (інтервалів);
- визначення власної частоти коливальних для кожного інтервалу та його тривалості.

Первинними даними для подальших розрахункових досліджень являються:

- номер дослідження;
- сила удару;
- кількість ділянок розбиття ударного імпульсу;
- тривалість імпульсу кожної ділянки;
- розподіл власних частот по ділянках, значення яких, представлені в таблиці 1.

Матриці відносних переміщень і прискорень розраховувалися з кроком  $\Delta t = 0,00067$  с.

Як приклад, розрахункові дослідження по формулах (1) і (2) для 1 дослідження (рис.4) і першої ділянки (рис.8) приведено в таблицях 2 та 3, а крива спектру ударного відгуку для власної частоти 73,17 Гц показана на рис. 9.



## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

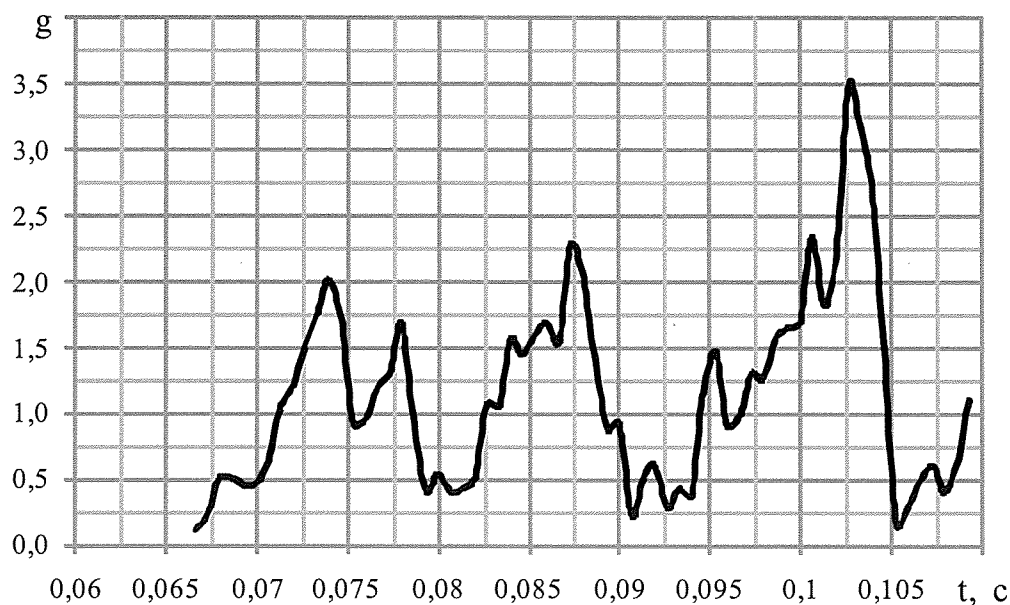


Рис. 8. Перший інтервал (власна частота – 73,2 гЦ,  $\Delta t = 0,00067$  с.)

Таблиця 2.–Матриця відносних переміщень

| Позначення стовпців таблиці   |    |   |            |            |            |         |            |          |           |
|---|----|---|------------|------------|------------|---------|------------|----------|-----------|
| $g_{\text{експ}}$ – записані значення прискорень в одиницях g;<br>$\xi_k$ – визначається для k-го значення по формулі (1);<br>$\xi_i$ – визначається шляхом підсумовування від k до i;<br>$\zeta$ – декремент загасання;<br>$\Delta t$ – інтервал часу, с;<br>$\omega_n$ – власна частота без загасання, рад/с;<br>$\omega_d$ – власна частота із загасанням. |    |   |            |            |            |         |            |          |           |
| $g_{\text{експ}}$   | i  | k | $\Delta t$ | $\ddot{X}$ | $\omega_n$ | $\zeta$ | $\omega_d$ | $\xi_k$  | $\xi_i$   |
| 1   | 2  | 3 | 4          | 5          | 6          | 7       | 8          | 9        | 10        |
| 3,78  | 42 | 0 | 0,000667   | 37,11      | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -8,1E-06 | -8,1E-06  |
| 3,52  | 42 | 1 | 0,000667   | 34,50      | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -4,2E-07 | -8,51E-06 |
| 3,45  | 42 | 2 | 0,000667   | 33,89      | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -8,4E-06 | -8,84E-06 |
| 3,35  | 42 | 3 | 0,000667   | 32,87      | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -1,5E-05 | -2,38E-05 |
| 3,24  | 42 | 4 | 0,000667   | 31,78      | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -2,1E-05 | -3,61E-05 |
| 3,13  | 42 | 5 | 0,000667   | 30,67      | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -2,4E-05 | -4,46E-05 |
| 2,94  | 42 | 6 | 0,000667   | 28,87      | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -2,4E-05 | -4,8E-05  |
| 2,73  | 42 | 7 | 0,000667   | 26,76      | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -2,2E-05 | -4,59E-05 |

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

*Закінчення табл. 2*

| 1       | 2  | 3  | 4        | 5     | 6      | 7    | 8      | 9        | 10        |
|---------|----|----|----------|-------|--------|------|--------|----------|-----------|
| 2,42    | 42 | 8  | 0,000667 | 23,71 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -1,7E-05 | -3,88E-05 |
| 2,20    | 42 | 9  | 0,000667 | 21,63 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -1,2E-05 | -2,88E-05 |
| 1,97    | 42 | 10 | 0,000667 | 19,34 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -6,2E-06 | -1,81E-05 |
| 2,07    | 42 | 11 | 0,000667 | 20,27 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -1,2E-06 | -7,41E-06 |
| 1,95    | 42 | 12 | 0,000667 | 19,12 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 4,19E-06 | 3,002E-06 |
| 1,95    | 42 | 13 | 0,000667 | 19,09 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 9,24E-06 | 1,342E-05 |
| 1,91    | 42 | 14 | 0,000667 | 18,75 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 1,33E-05 | 2,258E-05 |
| 1,98    | 42 | 15 | 0,000667 | 19,44 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 1,71E-05 | 3,042E-05 |
| 1,83    | 42 | 16 | 0,000667 | 17,97 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 1,74E-05 | 3,448E-05 |
| 1,77    | 42 | 17 | 0,000667 | 17,39 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 1,68E-05 | 3,424E-05 |
| 1,79    | 42 | 18 | 0,000667 | 17,58 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 1,54E-05 | 3,227E-05 |
| 1,76    | 42 | 19 | 0,000667 | 17,30 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 1,21E-05 | 2,754E-05 |
| 1,85    | 42 | 20 | 0,000667 | 18,11 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 8,17E-06 | 2,029E-05 |
| 1,75    | 42 | 21 | 0,000667 | 17,17 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 2,61E-06 | 1,079E-05 |
| 1,68    | 42 | 22 | 0,000667 | 16,53 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -2,8E-06 | -2,14E-07 |
| 1,75    | 42 | 23 | 0,000667 | 17,15 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -8,4E-06 | -1,12E-05 |
| 1,82    | 42 | 24 | 0,000667 | 17,85 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -1,4E-05 | -2,21E-05 |
| 1,79    | 42 | 25 | 0,000667 | 17,58 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -1,7E-05 | -3,1E-05  |
| 1,81    | 42 | 26 | 0,000667 | 17,76 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -2E-05   | -3,71E-05 |
| 1,84    | 42 | 27 | 0,000667 | 18,05 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -2,1E-05 | -4,05E-05 |
| 1,86    | 42 | 28 | 0,000667 | 18,23 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -1,9E-05 | -4,01E-05 |
| 1,77    | 42 | 29 | 0,000667 | 17,33 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -1,5E-05 | -3,47E-05 |
| 1,86    | 42 | 30 | 0,000667 | 18,20 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -1,1E-05 | -2,64E-05 |
| 1,84    | 42 | 31 | 0,000667 | 18,01 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -4,9E-06 | -1,61E-05 |
| 1,82    | 42 | 32 | 0,000667 | 17,83 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 1,78E-06 | -3,15E-06 |
| 1,84    | 42 | 33 | 0,000667 | 18,01 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 8,58E-06 | 1,036E-05 |
| 1,72    | 42 | 34 | 0,000667 | 16,84 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 1,38E-05 | 2,237E-05 |
| 1,69    | 42 | 35 | 0,000667 | 16,56 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 1,81E-05 | 3,193E-05 |
| 1,58    | 42 | 36 | 0,000667 | 15,51 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 1,98E-05 | 3,793E-05 |
| 1,45    | 42 | 37 | 0,000667 | 14,20 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 1,91E-05 | 3,885E-05 |
| 1,54541 | 42 | 38 | 0,000667 | 15,16 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 1,94E-05 | 3,851E-05 |
| 1,43799 | 42 | 39 | 0,000667 | 14,11 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 1,55E-05 | 3,497E-05 |
| 1,39404 | 42 | 40 | 0,000667 | 13,68 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 1,11E-05 | 2,658E-05 |
| 1,47583 | 42 | 41 | 0,000667 | 14,48 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 6,23E-06 | 1,728E-05 |

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 3.– Матриця відносних прискорень

| Позначення стовпців таблиці<br>$\ddot{\xi}_k$ – визначається для k-го значення по формулі (2) без вільного члена;<br>$\ddot{\xi}_i$ – визначається шляхом підсумовування від k до i;<br>$\xi_i$ – відносне і – е переміщення вибирається з таблиці 1;<br>$\ddot{\xi}_{своб,i}$ – вільний член формули (2): $\ddot{\xi}_{своб,i} = \omega_n^2 \cdot (2 \cdot \zeta^2 - 1) \cdot \xi_i$ . |    |           |            |         |            |                |                |          |                       |                                      |
|---|----|-----------|------------|---------|------------|----------------|----------------|----------|-----------------------|--------------------------------------|
| i   | k  | $\dot{x}$ | $\omega_n$ | $\zeta$ | $\omega_d$ | $\ddot{\xi}_k$ | $\ddot{\xi}_i$ | $\xi_i$  | $\ddot{\xi}_{своб,i}$ | $\ddot{\xi}_i + \ddot{\xi}_{своб,i}$ |
| 1   | 2  | 3         | 4          | 5       | 6          | 7              | 8              | 9        | 10                    | 11                                   |
| 42  | 0  | 37,11     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0154         | 0,0154         | -8,1E-06 | 1,70                  | 1,72                                 |
| 42  | 1  | 34,50     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0163         | 0,0318         | -8,5E-06 | 1,79                  | 1,82                                 |
| 42  | 2  | 33,89     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0158         | 0,0321         | -8,8E-06 | 1,86                  | 1,89                                 |
| 42  | 3  | 32,87     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0136         | 0,0294         | -2,4E-05 | 5,01                  | 5,04                                 |
| 42  | 4  | 31,78     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0102         | 0,0238         | -3,6E-05 | 7,59                  | 7,62                                 |
| 42  | 5  | 30,67     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0056         | 0,0158         | -4,5E-05 | 9,37                  | 9,39                                 |
| 42  | 6  | 28,87     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0004         | 0,0061         | -4,8E-05 | 10,1                  | 9,73                                 |
| 42  | 7  | 26,76     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -0,0050        | -0,0045        | -4,6E-05 | 9,66                  | 9,65                                 |
| 42  | 8  | 23,71     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -0,0101        | -0,0151        | -3,9E-05 | 8,16                  | 8,14                                 |
| 42  | 9  | 21,63     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -0,0144        | -0,0245        | -2,9E-05 | 6,07                  | 6,04                                 |
| 42  | 10 | 19,34     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -0,0175        | -0,0319        | -1,8E-05 | 3,80                  | 3,77                                 |
| 42  | 11 | 20,27     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -0,0190        | -0,0365        | -7,4E-06 | 1,56                  | 1,52                                 |
| 42  | 12 | 19,12     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -0,0188        | -0,0378        | 3E-06    | -0,63                 | -0,67                                |
| 42  | 13 | 19,09     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -0,0168        | -0,0356        | 1,34E-05 | -2,82                 | -2,86                                |
| 42  | 14 | 18,75     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -0,0131        | -0,0299        | 2,26E-05 | -4,75                 | -4,78                                |
| 42  | 15 | 19,44     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -0,0081        | -0,0212        | 3,04E-05 | -6,40                 | -6,42                                |
| 42  | 16 | 17,97     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -0,0022        | -0,0103        | 3,45E-05 | -7,25                 | -7,26                                |
| 42  | 17 | 17,39     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0042         | 0,0020         | 3,42E-05 | -7,20                 | -7,20                                |
| 42  | 18 | 17,58     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0103         | 0,0145         | 3,23E-05 | -6,79                 | -6,77                                |
| 42  | 19 | 17,30     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0157         | 0,0260         | 2,75E-05 | -5,79                 | -5,77                                |
| 42  | 20 | 18,11     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0197         | 0,0353         | 2,03E-05 | -4,27                 | -4,23                                |
| 42  | 21 | 17,17     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0220         | 0,0417         | 1,08E-05 | -2,27                 | -2,23                                |
| 42  | 22 | 16,53     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0223         | 0,0442         | -2,1E-07 | 0,04                  | 0,09                                 |
| 42  | 23 | 17,15     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0205         | 0,0427         | -1,1E-05 | 2,35                  | 2,40                                 |
| 42  | 24 | 17,85     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0166         | 0,0371         | -2,2E-05 | 4,65                  | 4,68                                 |
| 42  | 25 | 17,58     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0111         | 0,0278         | -3,1E-05 | 6,53                  | 6,56                                 |
| 42  | 26 | 17,76     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | 0,0044         | 0,0156         | -3,7E-05 | 7,81                  | 7,82                                 |
| 42  | 27 | 18,05     | 459,75     | 0,05    | 459,17     | -0,0029        | 0,0015         | -4E-05   | 8,51                  | 8,51                                 |

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Закінчення табл. 5

| 1  | 2  | 3     | 4      | 5    | 6      | 7       | 8       | 9        | 10    | 11    |
|----|----|-------|--------|------|--------|---------|---------|----------|-------|-------|
| 42 | 28 | 18,23 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -0,0102 | -0,0132 | -4E-05   | 8,42  | 8,41  |
| 42 | 29 | 17,33 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -0,0168 | -0,0270 | -3,5E-05 | 7,30  | 7,27  |
| 42 | 30 | 18,20 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -0,0220 | -0,0388 | -2,6E-05 | 5,56  | 5,52  |
| 42 | 31 | 18,01 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -0,0252 | -0,0472 | -1,6E-05 | 3,38  | 3,33  |
| 42 | 32 | 17,83 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -0,0262 | -0,0514 | -3,2E-06 | 0,66  | 0,61  |
| 42 | 33 | 18,01 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -0,0247 | -0,0509 | 1,04E-05 | -2,18 | -2,23 |
| 42 | 34 | 16,84 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -0,0209 | -0,0456 | 2,24E-05 | -4,70 | -4,75 |
| 42 | 35 | 16,56 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -0,0149 | -0,0358 | 3,19E-05 | -6,72 | -6,75 |
| 42 | 36 | 15,51 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | -0,0073 | -0,0222 | 3,79E-05 | -7,98 | -8,00 |
| 42 | 37 | 14,20 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 0,0011  | -0,0062 | 3,89E-05 | -8,17 | -8,18 |
| 42 | 38 | 15,16 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 0,0098  | 0,0109  | 3,85E-05 | -8,10 | -8,09 |
| 42 | 39 | 14,11 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 0,0178  | 0,0276  | 3,5E-05  | -7,36 | -7,33 |
| 42 | 40 | 13,68 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 0,0243  | 0,0421  | 2,66E-05 | -5,59 | -5,55 |
| 42 | 41 | 14,48 | 459,75 | 0,05 | 459,17 | 0,0288  | 0,0531  | 1,73E-05 | -3,63 | -3,58 |

Власна частота – 73,2 Гц, максимальний СУВ – 9,73g

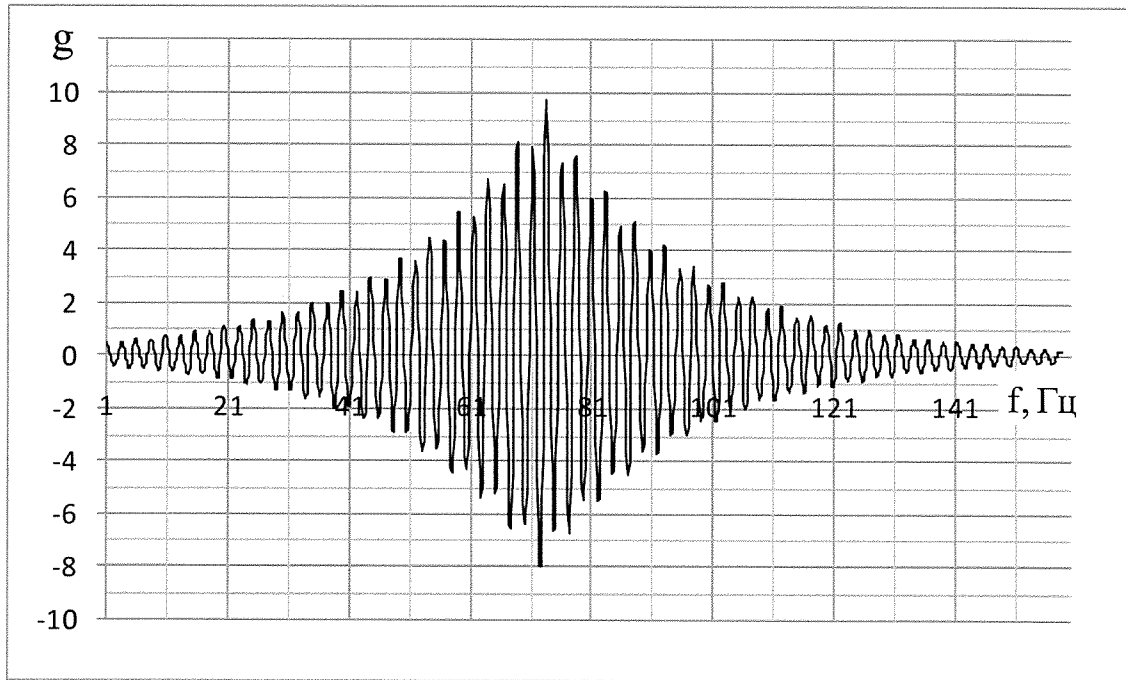


Рис. 9. Крива СУВ (власна частота 73,17 Гц)

Аналогічні розрахунки виконувалися для всіх тимчасових інтервалів кожного дослідження, результати обчислень СУВ наведені в таблиці 4 та 5.

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 4. – Дані для проведення розрахункових досліджень

| № досліджу | Сила удару, кН (тс) | Кількість ділянок | Номер ділянки | Тривалість, с | Власна частота, Гц |
|------------|---------------------|-------------------|---------------|---------------|--------------------|
| 1          | 2315 (236)          | 2                 | 1             | 0,02733       | 73,17              |
|            |                     |                   | 2             | 0,04066       | 24,59              |
| 2          | 1746 (178)          | 4                 | 1             | 0,01666       | 60,00              |
|            |                     |                   | 2             | 0,01466       | 68,18              |
|            |                     |                   | 3             | 0,03933       | 50,84              |
| 3          | 1393 (142)          | 1                 | 1             | 0,04000       | 50,00              |
| 4          | 1030 (105)          | 1                 | 1             | 0,02666       | 75,00              |

Таблиця 5. – Табличне представлення точок кривої СУВ

| Частота, Гц | Експериментальні значення прискорень, g | Мінімальні допустимі $1,95 \cdot \omega_n^{0,355}$ , g |
|-------------|---|--|
| 1           | 2                                       | 3  |
| 24,59       | 6,90                                    | 6,08   |
| 1           | 2                                       | 3  |
| 50,00       | 8,73                                    | 7,82   |
| 50,85       | 9,13                                    | 7,87   |
| 60,00       | 8,95                                    | 8,34   |
| 68,18       | 9,05                                    | 8,73   |
| 73,17       | 9,73                                    | 8,95   |
| 75,00       | 9,18                                    | 9,03   |

Порівняльна гістограма значень СУВ для отриманих власних частот свідчить, що їх величини перевищують нормовані значення (рис. 10). Рівняння експериментальної кривої СУВ в діапазоні частот 0-100 гЦ описується степеневою залежністю. Коефіцієнти рівняння визначалися статистичним методом максимальної правдоподібності, при цьому коефіцієнт детермінації склав 0,897, що є задовільним значенням. Порівняльний аналіз показав, що експериментальна крива СУВ в діапазоні частот 0-100 гЦ перевищує нормовану криву (рис.11).

Функціональні залежності відносних переміщень (рис. 12) і прискорень (рис. 13) від часу процесу мають яскраво виражений гармонійний характер.

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

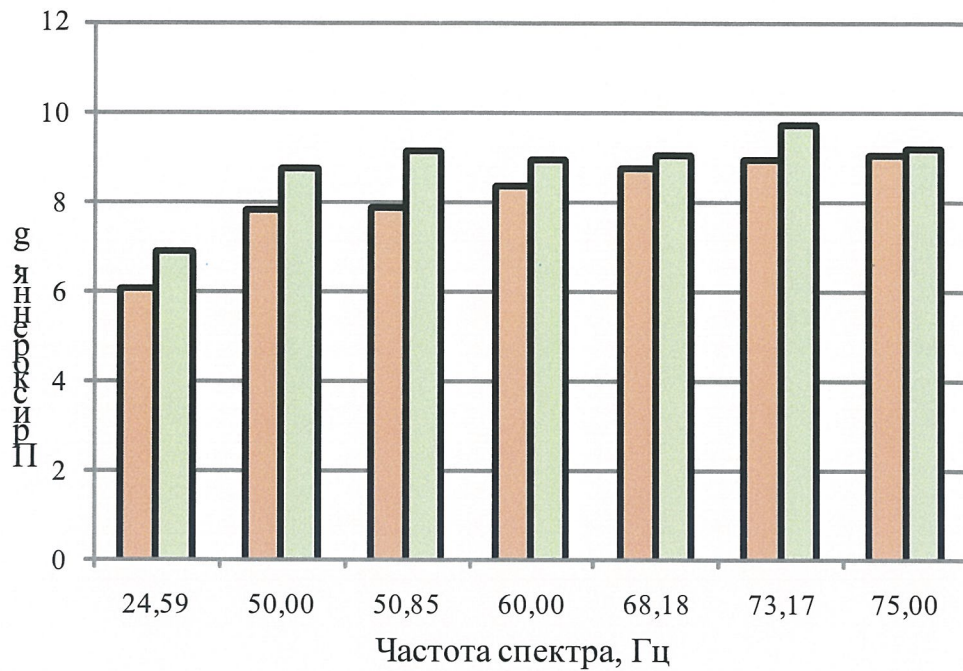


Рис. 10. Порівняльні гістограми СУВ за результатами експериментальних досліджень

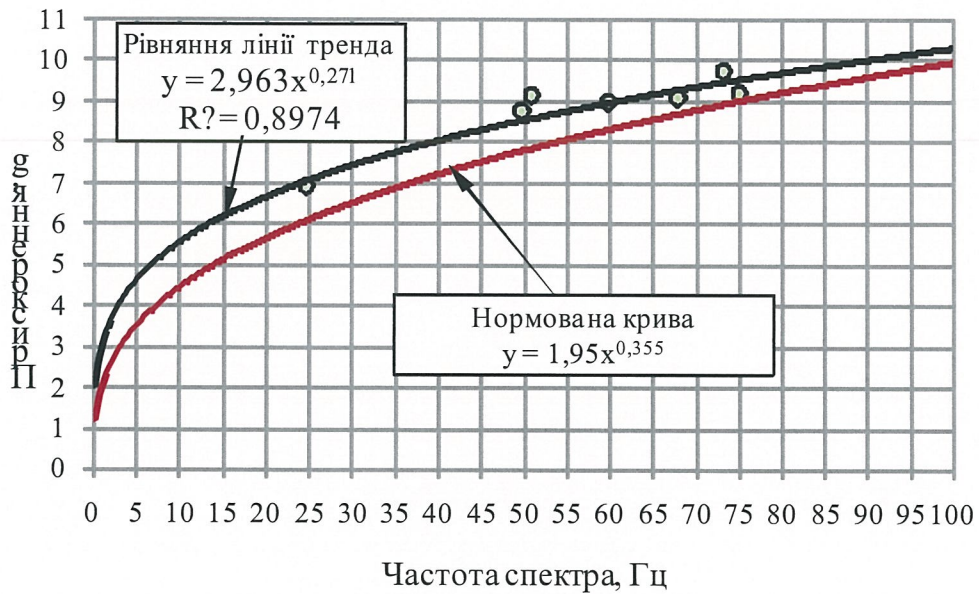


Рис. 11. Порівняльні криві СУВ

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

---

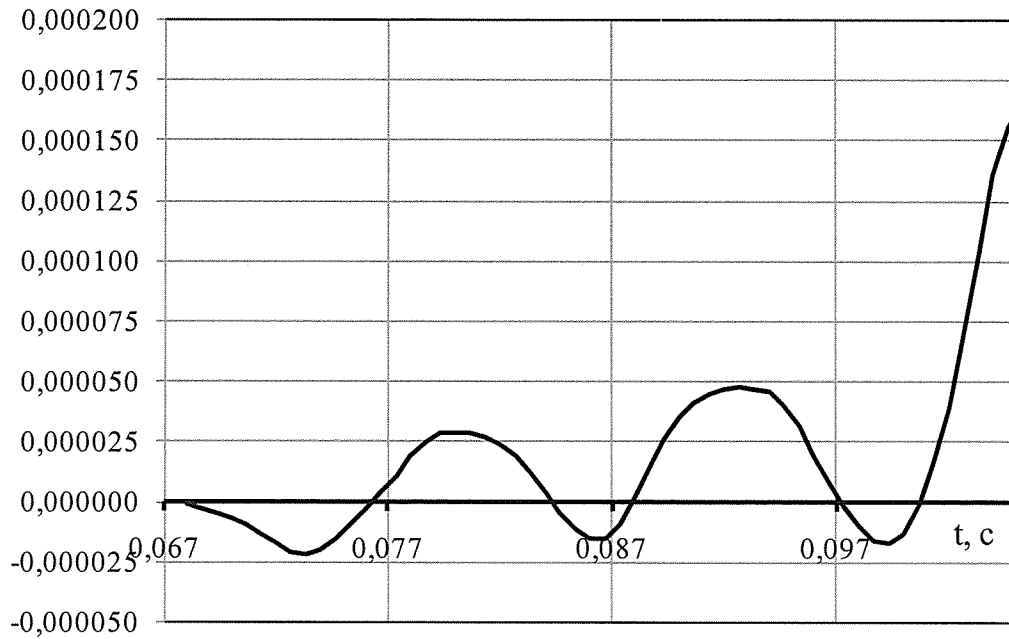


Рис. 12. Діаграма відносних переміщень

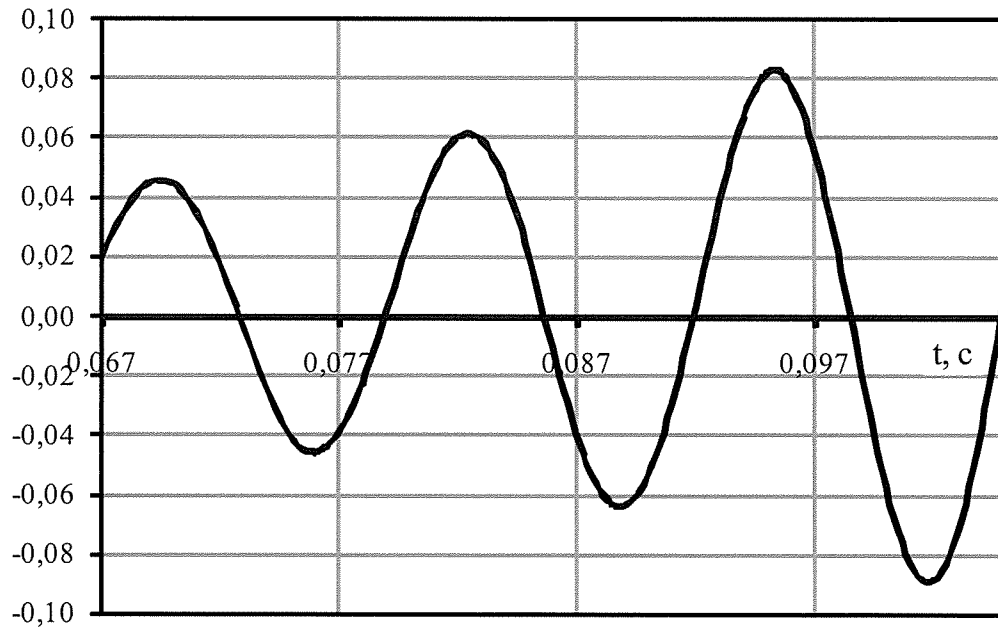


Рис. 13. Діаграма відносних прискорень

Очевидно, формули (1) і (2) перетворюють ударний імпульс в гармонійний хвильовий процес, який характерний для імітації дії морських хвиль на контейнер при перевезенні морськими судами.

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Слід зазначити, що сила ударної дії, що реалізується на залізничному вагоні, представляє високочастотний, швидкозагасаючий імпульс тривалістю не більше 1 с. (рис. 14)

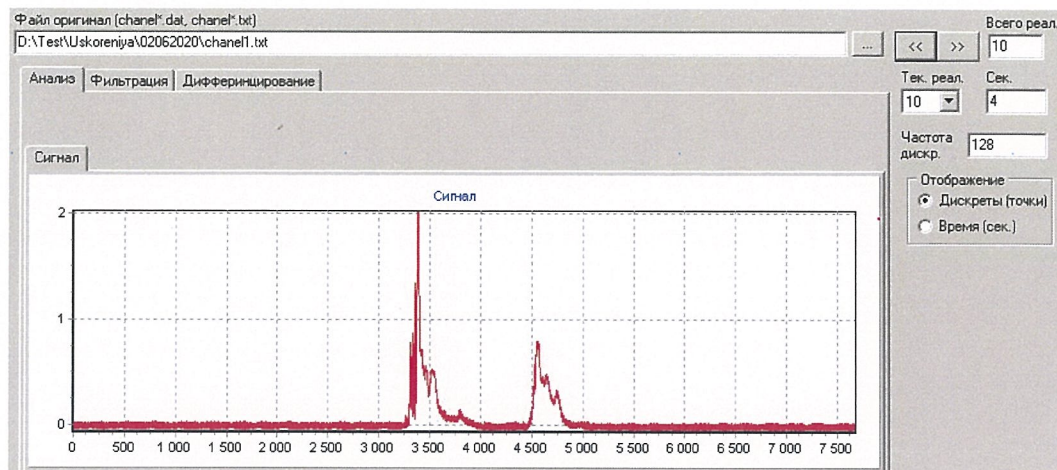


Рис. 14. Ударний імпульс, що реалізується на вагоні

Така особливість потребує застосовувати, для отримання достовірних результатів досліджень, достатньо велику кількість дослідів (співударянь), до того ж, для типової схеми співударянь (див. рис. 2) практично неможливо отримати частоти коливань менше 50 Гц.

Для вирішення вказаної проблеми запропоновано використати вагон-цистерну з наливною рідиною, процеси в якій при ударі істотно відрізняються від інших вантажних вагонів.

У момент ударної дії, на рідину, що знаходиться в цистерні, діє подовжня сила інерції, через що, виникає короточасний, але значний тиск рідини (гідроудар) на переднє днище. Тиск гідроудару залежить від багатьох чинників:

- Швидкості руху і прискорення вагона-бойка, у момент співударяння, а також його маси;
- Щільності і динамічній в'язкості наливої рідини;
- Рівень недоливу рідини у вагоні-цистерни.

Гідроудар в повністю (рис. 15) і частково (рис. 16) завантаженої цистерни мають істотні відмінності.

Встановлено, що в котлі з частковим недоливом відбуваються хвильові процеси рідини, обумовлені періодичним інерційним перетіканням рідини від одного кінця котла (днища) до іншого (днища).

Періодичні ударні дії на цистерну, викликані коливаннями рідини, обумовлюють можливість її використання для випробувань контейнера-цистерни.

В зв'язку з цим, пропонується наступна схема проведення випробувань контейнерів-цистерн (рис.17):

1. створюється зчеп з вагону-цистерни і залізничної платформи з контейнером-цистерною;
2. платформа з контейнером-цистерною фіксується на залізничній колії гальмівними башмаками з обох боків;



## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

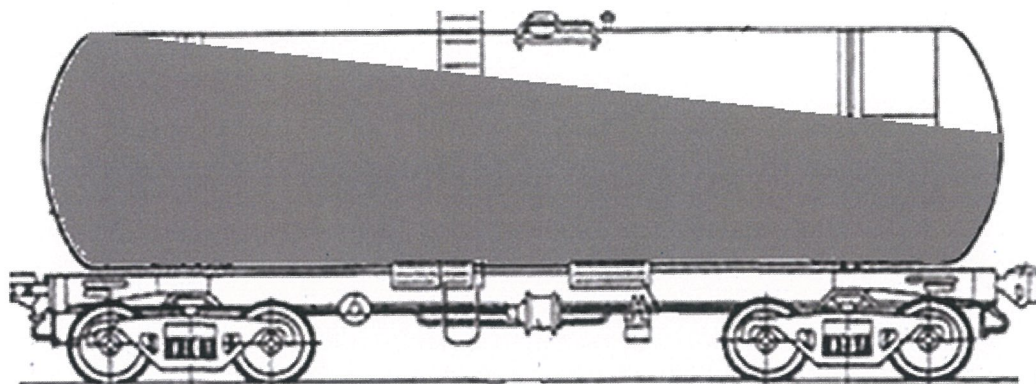


Рис. 15. Розподіл тиску рідини в котлі за умов повністю завантаженої цистерни, викликані ударною дією

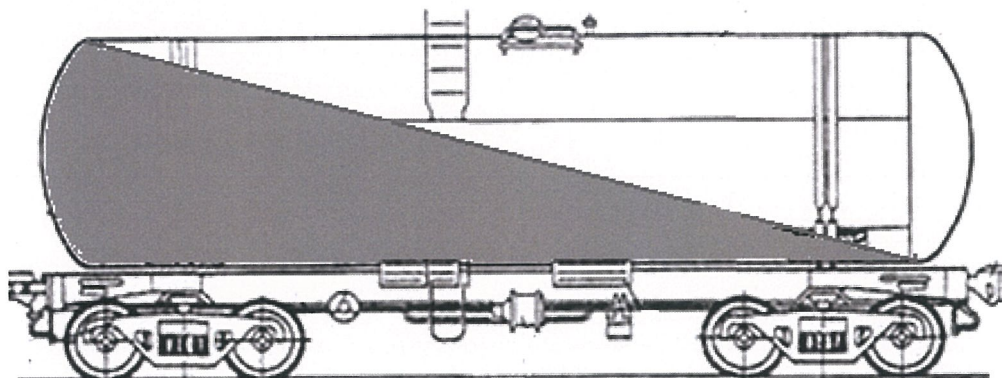


Рис. 16. Розподіл тиску рідини в котлі при частковому завантаженні цистерни, викликані ударною дією

3. випробування проводяться шляхом накочення вагона-бойка на вагон-цистерну;
4. вагон-цистерна заливається лише водою на  $2/3$  від власного об'єму котла [3].

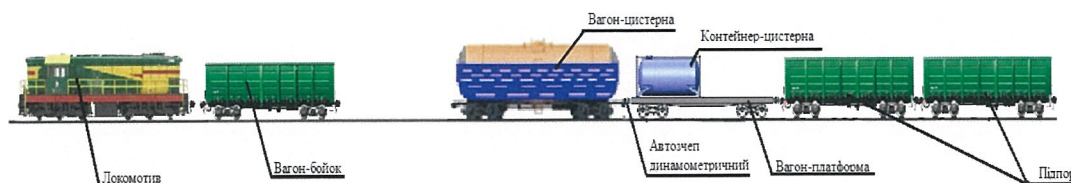


Рис. 17. Схема проведення випробувань контейнера на ударні навантаження

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Сили, які діятимуть на контейнер при співударянні можна розрахувати наступним чином. Фітинги жорстко, за допомогою зварки, пов'язані з платформою і, отже, всі динамічні процеси платформи, як пружного тіла, відбиватимуться на фітингах.

Оскільки при повній місткості котла, хвильові процеси на поверхні рідини відсутні (рідина нестискувана), то контейнер можна розглядати по відношенню до платформи як абсолютно тверде тіло.

Сила інерції, прикладена до центру тяжіння контейнера, визначиться по формулі [2]:

$$F_{u,k} = F_y \cdot \frac{m_k}{m_{nl} + m_k} \quad (4)$$

де  $F_y$  – сила ударного впливу на платформу,  $F_y = 2315,16$  кН (236 тс)  
(див. рис. 4);

$F_{u,k}$  – сила інерції, діюча на контейнер;

$m_k$  – маса контейнера,  $m_k = 37$  т;

$m_{nl}$  – маса платформи,  $m_{nl} = 21$  т.

З урахуванням вагових характеристик, сила інерції контейнера складе:

$$F_{u,k} = 2315,16 \cdot \frac{37}{21+37} = 1476,9 \text{ кН} (150,5 \text{ тс}), \quad (5)$$

а прискорення контейнера буде дорівнювати:

$$u_{u,k} = \frac{1476,9}{37} = 39,91 \text{ кг} / \text{см}^2 (4,07 \text{ g}). \quad (6)$$

Проведені розрахунки показали, що прискорення контейнера (4,07 g) відрізняється від прискорення платформи (5,22 g, див. рис. 4) на 22 % в меншу сторону.

Максимальний тиск (гідроудар) реалізується поблизу днища котла контейнера розташованого з боку удару (з протилежного боку тиск дорівнює нулю) визначиться по формулі:

$$P_{\max} = \frac{4 \cdot F_{u,k}}{\pi \cdot D_k^2} = \frac{4 \cdot 1476,9}{3,1416 \cdot 2,896^2} = 224,21 \text{ кПа}, \quad (7)$$

де  $D_k$  – діаметр котла,  $D_k = 2,896$  м;

Сила інерції контейнера, прикладена до центру тяжіння контейнера, викликає момент відносно передніх фітингів, що викликає додаткове вантаження передніх фітингів вертикальними навантаженнями.

Вертикальне навантаження на передні фітинги, обумовлене силою інерції, визначиться по формулі:

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

$$R_{k,1} = F_{u,k} \cdot \frac{D_k}{2 \cdot L_k} = 1476,9 \cdot \frac{2,896}{2 \cdot 6,058} = 706,02 \text{ кН (112,8 тс)}, \quad (8)$$

де  $F_{u,k}$  – сила інерції контейнера, кН;

$D_k$  – діаметр котла, м;

$L_k$  – довжина контейнера, м

Таким чином, сумарне вертикальне навантаження на передні фітинги, з урахуванням вагових характеристик контейнера, складе:

$$SR_{k,1} = \frac{S_k}{2} + R_{k,1} = \frac{362,97}{2} + 706,02 = 887,5 \text{ кН (90,5 тс)}, \quad (9)$$

Відповідно на задніх фітингах вертикальна сила буде дорівнювати:

$$SR_{k,1} = \frac{S_k}{2} + -R_{k,1} = \frac{362,97}{2} - 706,02 = -343 \text{ кН (-34,95 тс)}, \quad (10)$$

при цьому задні фітинги зневантажуються (рис. 18), а консольна частина платформи піддається дії значних вертикальних сил.

Приймаючи коефіцієнт тертя між металом контейнера об метал платформи рівним 0,25, то сила тертя між контейнером і платформою складе:

$$F_{\text{тр}} = 887,5 \cdot 0,25 = 221,9 \text{ кН.}$$

Висока величина сили тертя може блокувати переміщення контейнера в подовжньому напрямку відносно платформи.

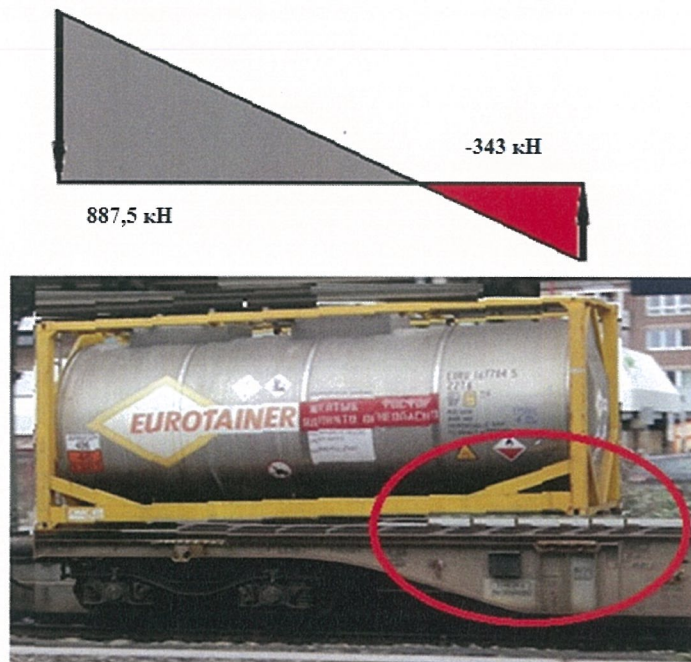


Рис. 18. Схема навантаження контейнера-цистерни при гідроударі

## РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

---

### **Висновки.**

На підставі аналізу проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. На підставі результатів виконаних досліджень встановлено, що контейнер-цистерна задовольняє нормативним вимогам [1];
2. Існуюча схема проведення випробувань створює ударні високочастотні і короткочасні імпульси, що не дозволяє отримати результати для частот менше 50 Гц;
3. Встановлено, що для побудови кривої СУВ в частотному діапазоні до 100 Гц, потрібно велике число співударянь (ударів), внаслідок чого необхідно значні фінансові ресурси та витрати часу на проведення таких досліджень;
4. Запропоновану схему проведення випробувань, за якої реалізуються періодичні ударні дії на платформу, проте така схема вимагає проведення попередніх досліджень для підтвердження можливості її використання.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Европейское соглашение о международной перевозке опасных грузов по внутренним водным путям (ВОПОГ). ЧАСТЬ 4. Положения, касающиеся использования тары цистерн и грузовых транспортных единиц для перевозки грузов навалом/насыпью. 1103 с.
2. «Нормы для расчёта и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных), ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996 г. 317 с.
3. Правила перевезення рідких вантажів наливанням у вагонах-цистернах та вагонах бункерного типу для перевезення нафтобітуму, 2009 р. 65 с.

### ***Y.Y. Vodiannikov***

State Enterprise «Ukrainian Railway Car Building Research Institute»  
33 I.Pryhodko Str., Kremenchuk, Ukraine, 39621  
E-mail: office@ukrndiv.com.ua  
tel.: +38 (05366) 6 03 24

### ***P.O. Khozia***

State Enterprise «Ukrainian Railway Car Building Research Institute»  
33 I.Pryhodko Str., Kremenchuk, Ukraine, 39621  
E-mail: office@ukrndiv.com.ua  
tel.: +38 (05366) 6 03 24  
ORCID: 0000-0001-8948-6032

### ***V.S. Rechkalov***

State Enterprise «Ukrainian Railway Car Building Research Institute»  
33 I.Pryhodko Str., Kremenchuk, Ukraine, 39621  
E-mail: office@ukrndiv.com.ua  
tel.: +38 (05366) 6 03 24

### ***E.V. Tretiak***

State Enterprise «Ukrainian Railway Car Building Research Institute»  
33 I.Pryhodko Str., Kremenchuk, Ukraine, 39621  
E-mail: office@ukrndiv.com.ua  
tel.: +38 (05366) 6 03 24  
ORCID: 0000-0002-3429-5674

### ASPECTS OF TANK-CONTAINER TESTS FOR COMPLIANCE WITH THE REQUIREMENTS OF THE UN SHIPPING REGISTER

*The article deals the method of calculation studies of impact tests of tank containers to confirm the ability of portable tanks and multi-element gas containers to withstand the impact in the longitudinal direction on a specially equipped stand accredited in the certification system of the Register of Shipping of Ukraine, or using a railway platform and executing an impact force generated by a wagon-striker in accordance with the requirements of the UN Register of Shipping. It is shown that the main estimated characteristic of the UN requirements is the impact response spectrum (accelerations) for the interval natural frequencies of the impact impulse. The calculation of the points of the impact response spectrum curve according to the test results is shown in four stages. The test configuration of a railway platform with a tank-container for impact loads is presented, in which the impact is performed in such a way that the curve of the impact response spectrum obtained during the tests of both fittings under a single impact repeated or exceeded the minimum impact response curve spectrum at all frequencies in the range from 2 Hz to 100 Hz. The matrices of relative displacements and accelerations for the interval natural frequencies of the impact wave are given. The results of the research are presented in graphical form, which shows that the experimental values of the impact response spectrum exceed the minimum allowable values. The equation of the experimental curve of the shock response spectrum in the frequency range 0-100 Hz is described by the power dependence; the coefficients of the equation were determined by the statistical method of the maximum likelihood, with the determination factor being 0.897, which is a satisfactory value. The comparative analysis showed that the experimental curve of the impact response spectrum in the frequency range 0-100 Hz exceeds the normalized curve, which confirms compliance with regulatory requirements. It is proposed to use a new test configuration using a tank car with bulk liquid, where the processes occurring under impact significantly differ from other freight cars subjected to longitudinal impact loads of the tank container. The hydraulic shock caused by the impact on the tank container and the platform creates a turning moment, which causes the rear fittings to be unloaded.*

**Key words:** tank-container, impact loads, acceleration, determination factor

### REFERENCES

1. Yevropeyskoye soglasheniye o mezhdunarodnoy perezovozke opasnykh gruzov po vnutrennim vodnym putyam (VOPOG). CHAST' 4. Polozheniya, kasayushchiyesya ispol'zovaniya tary tsistem i gruzovykh transportnykh yedinit dlya pere-vozki gruzov navalom/nasyp'yu. 1103 p.
2. «Normy dlya raschete i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm(nesamokhodnykh), GosNIIV-VNIIZHT, 1996 g. pp.317 .
3. Pravyla perevezennya ridkykh vantazhiv nalyvannyam u vahonakh-tsystemakh ta vahonakh bunkernoho typu dlya perevezennya naftobitumu, 2009 r. pp. 65.