

8. Скрытые Марковские модели в распознавании речи [Электронный ресурс]. – Режим доступа : \www/ URL: <http://habrahabr.ru/post/134954/> – 20.12.2011 г. – Загл. с экрана.
9. Как это работает? Распознавание речи [Электронный ресурс]. – Режим доступа : \www/ URL: <http://yandex.livejournal.com/288893.html/> – 23.10.2013 г. – Загл. с экрана.
10. Хабибуллин, И. Самоучитель XML [Текст] / И. Хабибуллин. – БХВ-Петербург, 2003. – 336 с.
11. Холзнер, С. XML. Энциклопедия [Текст] / С. Холзнер. – Питер, 2004. – 1101 с.
12. Невлюдов, И. Ш. Голосовое формирование управляющих команд робота в САПР технологических процессов [Текст] / И. Ш. Невлюдов, А. М. Цымбал, С. С. Милютин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – Т. 2, № 2 (32). – С. 12–14.
13. Невлюдов, И. Ш. Голосовое формирование управляющих команд при проектировании роботизированных сборочных процессов [Текст] / И. Ш. Невлюдов, А. М. Цымбал, С. С. Милютин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – Т. 4, № 2 (34). – С. 65–68.
14. Цымбал, А. М. Транслятор команд голосового управления роботом [Текст] : тезисы докл. / А. М. Цымбал, С. С. Милютин // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2008»: 4-я Международная молодежная научно-техническая конф. – Севастополь, 2008. – С. 258.
15. Невлюдов, И. Ш. Интеллектуальное проектирование технологии роботизированной сборки [Текст] / И. Ш. Невлюдов, А. М. Цымбал, С. С. Милютин. – Харьков, 2010. – 207 с.

*В даній роботі розглядається питання підвищення ефективності використання напіввагонів в процесі розвантаження з них насипних вантажів. Наведений аналіз сучасної технології розвантаження насипних вантажів з напіввагонів. Виявлені шляхи підвищення продуктивності вібраційних розвантажувальних машин. На базі проведених теоретичних і експериментальних досліджень автором запропоновані зміни основних параметрів вібраційних розвантажувальних машин, які підвищують ефективність процесу розвантаження насипних вантажів з напіввагонів, та забезпечують збереження рухомого складу*

*Ключові слова: напіввагон, насипний вантаж, вібрація, розвантаження, математична модель, скінченно-елементна модель*

*В данной работе рассматривается вопрос повышения эффективности использования полувагонов в процессе разгрузки из них насыпных грузов. Приведен анализ современной технологии разгрузки насыпных грузов из полувагонов. Вывявлены пути повышения производительности вибрационных разгрузочных машин. На базе проведенных теоретических и экспериментальных исследований автором предложены изменения основных параметров вибрационных разгрузочных машин, которые повышают эффективность процесса разгрузки насыпных грузов из полувагонов, а также обеспечивают сохранность подвижного состава*

*Ключевые слова: полувагон, насыпной груз, вибрация, разгрузка, математическая модель, конечно-элементная модель*

УДК 656.13.05

# ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПІВВАГОНІВ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ РОЗ- ВАНТАЖУВАЛЬНИХ МАШИН

Є. В. Повороженко

Інженер

ДП “Південна залізниця”

вул. Червоноармійська, 7, м. Харків,

Україна, 61052

E-mail: [dsliski@i.ua](mailto:dsliski@i.ua)

## 1. Вступ

Серед показників, які характеризують якість експлуатаційної роботи парку вагонів, одним з най-

важливіших є обіг вагонів, який складається з часу пробігу вагону у завантаженому та порожньому стані, тривалості простоїв на станціях, тривалості виконання маневрових і вантажно-розвантажувальних робіт.

Тривалість вантажно-розвантажувальних робіт залежить як від досконалості вантажно-розвантажувальних технологій, так і від продуктивності вантажної техніки.

Одним із шляхів підвищення ефективності використання рухомого складу є підвищення ефективності технології розвантаження залізничних вагонів за рахунок удосконалення розвантажувальної техніки.

## 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

У теперішній час переважна більшість пунктів розвантаження насипних вантажів з напіввагонів (НВ) залізничних станцій і промислових підприємств застосовують гравітаційне розвантаження насипних вантажів через нижні розвантажувальні люки НВ. Головним недоліком даної розвантажувальної технології є значна кількість залишків насипних вантажів в кузовах НВ, яка в більшості випадків становить від 3 до 7 т (рис. 1), а інколи може сягати 20 т [1, 2]. Видалення залишків насипних вантажів з НВ передбачене чинними нормативними документами [3, 4], через що збільшується загальна тривалість розвантаження НВ. В свою чергу збільшення простоїв НВ під розвантаженням призводить до зменшення ефективності використання парку НВ, одним з основних показників якої є обіг парку НВ. Згідно [5] видалення залишків насипних вантажів з НВ становить близько 50 % загальної тривалості розвантаження, що у загальній тривалості обігу НВ становить майже 1 %.



Рис. 1. Залишки піску

Згідно чинних нормативних документів [3, 4], всі вагони повинні бути повністю очищені від залишків вантажу, що в них перевозився. Через це в пунктах розвантаження передбачаються спеціальні технічні засоби для очищення НВ. Розробкою цих засобів займалися такі відомі вітчизняні фахівці, як П. І. Пузирьков [6], С. О. Другаль [7], В. М. Стогов [8], І. П. Кривцов [8], П. Г. Паров [1, 8], В. О. Мироненко [8], Е. М. Морозов [9], А. М. Котенко [10], О. М. Гребцов [11], Є. В. Романович [12, 13] та інші. Також, розробкою пристроїв для механізованого видалення залишків насипних вантажів з вагонів займалися і закордонні вчені [14–16].

Очищення НВ від залишків насипних вантажів до теперішнього часу продовжує залишатися однією з найбільш трудомістких, коштовних та тривалих серед усіх технологічних операцій, які виконуються під час розвантаження насипних вантажів з НВ [17].

Однією із головних причин такого положення є відсутність достатньо ефективних засобів механізації очищення НВ до існуючих засобів механізації вантажно-розвантажувальних робіт, що дозволить забезпечити збереження вагонів, знизити їх простої та отримати відчутний економічний ефект.

Широкого використання для очищення насипних вантажів набули вібраційні розвантажувальні машини. У залежності від напрямку вимушених коливань вони поділяються на люкові вібратори, вібратори поздовжньої дії, вібратори бокової дії, накладні вібратори. На залізницях України і країн Співдружності найбільшого розповсюдження набули накладні вібратори. В цих пристроях змушуюча сила спрямована вертикально і передається кузову НВ через верхню обвіязку. Розробкою цих пристроїв займалися як вітчизняні [6, 7, 10, 12], так і закордонні [18, 19] фахівці.

Впродовж кількох десятків років основними засобами для вібраційного розвантаження насипних вантажів з НВ є накладний вібратор системи Урал-7771 (рис. 2) [7], який складається з зовнішньої і внутрішньої рам, дебалансів, карданних шарнірів та електродвигуна приводу дебалансів. До збудовки вібраторів системи Урал-ЦНІИ відносяться відносна простота конструкції, зручність встановлення на вагон та керування, порівняно невеликі експлуатаційні витрати.



Рис. 2. Накладний вібратор Урал-7771

Але вібратори системи Урал-7771 мають ряд суттєвих недоліків, головними з яких є незадовільна продуктивність, а також хаотичне переміщення вібратора по кузову НВ, внаслідок чого кузови НВ відчувають ударні навантаження, через що пошкоджуються такі їх елементи, як шкворневі і проміжні стійки, а також обшивка.

## 3. Мета і задачі досліджень

На підставі наведеного подальші дослідження доцільно спрямувати на удосконалення накладних вібраційних розвантажувальних машин, які б мали більшу продуктивність, а також забезпечували повне збереження рухомого складу. Застосування удосконалених накладних вібраторів позитивно вплине на

такому якісному показникові використання рухомого складу, як обіг вагонів.

Метою досліджень є вирішення науково-практичного завдання підвищення ефективності технології розвантаження насипних вантажів з напіввагонів за рахунок удосконалення засобів механізації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідити фактори, що впливають на вібраційне розвантаження насипних вантажів з напіввагонів, та змодельовати процес вібраційного розвантаження НВ з урахуванням зміни кількості вантажу в його кузові;
- встановити взаємозв'язок між вібраційними навантаженнями кузовів НВ і їх міцністю в процесі вібраційного розвантаження;
- дослідити вплив основних параметрів накладних вібраційних розвантажувальних машин на ефективність процесу розвантаження насипних вантажів з напіввагонів та розробити рекомендації щодо удосконалення вібраційних розвантажувальних машин.

#### 4. Теоретичні дослідження процесу вібраційного розвантаження напіввагонів

Для підвищення ефективності вібраційного розвантаження НВ від залишків насипних вантажів за допомогою накладних вібраторів в першу чергу необхідно мати чітке розуміння того, що відбувається з вантажем в процесі вібрації. Після відкривання кришок розвантажувальних люків відбувається обвалення призми вантажу, частина вантажу висипається з кузова, а решта залишається в ньому, нагадуючи своєю формою укоси ґрунту (рис. 3).

Тому була висунута гіпотеза про те, що стійкість залишків насипних вантажів у кузові НВ підпорядковується законам теорії сипких тіл та стійкості укосів. Дослідженням напруженого стану масивів, їх стійкості і процесами руйнування, несучої здатності опор споруд успішно займалися такі відомі вчені, як Н. И. Безухов [20], Р. Л. Зенков [21], Г. К. Клейн [22] та інші.

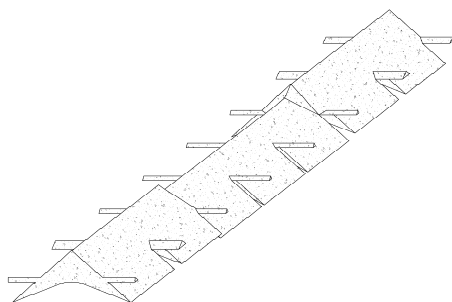


Рис. 3. Графічне зображення залишків насипних вантажів в кузові напіввагона

В загальному випадку умова стійкості укосу записується у вигляді [22]

$$\sigma \cdot \text{tg}\phi + \tau_0 \geq \tau, \tag{1}$$

де  $\tau$  – дотичне зовнішнє напруження, яке діє на укис, Па;  $\sigma$  – тиск, нормальний до поверхні зсуву, Па;  $\phi$  – кут

внутрішнього тертя насипного вантажу, градусів;  $\tau_0$  – початковий опір насипного вантажу зсуву, Па.

Початковий опір насипного вантажу зсуву характеризує силу зчеплення часток вантажу між собою і залежить від таких його фізико-механічних властивостей, як щільність, вогкість, розмір та форма часток, злежуваність.

Умову обвалення призми вантажу в процесі вібраційного впливу можна записати в наступній формі

$$\tau_2 = \frac{m \cdot (g \pm a) \cdot \cos \alpha}{F} \cdot \text{tg}\phi + \tau_0 < \tau, \tag{2}$$

де  $F$  – площа поверхні,  $\text{м}^2$ ;  $m$  – маса вантажу, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $a$  – прискорення при вібраційному очищенні кузова НВ,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $\alpha$  – кут нахилу поверхні зсуву до горизонту, градусів.

Звідси можна зробити наступні висновки:

- змушуюча сила вібраційних розвантажувальних пристроїв зменшує перший доданок формули (2);
- для деяких насипних вантажів, які мають великі значення початкового опору зсуву  $\tau_0$  (глина, формувальна земля, гранвідсів), ефективність процесу очищення кузова НВ накладними вібраторами із стандартними параметрами джерел вібрації знижується [3, 4].

З наведеного вище видно, що залишки вантажу, які знаходяться на елементах кузова НВ після відкривання розвантажувальних люків, до прикладання вібрації до НВ, знаходяться в стані рівноваги. Прикладення вібрації порушує цю рівновагу, що і призводить до обвалення призми залишків вантажу і висипання їх з кузова НВ. Обвалення призми залишків в свою чергу призводить до поступового зменшення кута укосу залишків вантажу до значення, рівного куту нахилу кришки люка до горизонту. Очевидно, що чим менше висота призми вантажу, тим більш стійкою до зсуву вона буде. З часом шар залишків вантажу в кузові напіввагона виявиться настільки малим, що в подальшому доцільним буде розглядати не умову обвалення призми вантажу, а умову зсуву частки вантажу з похилої кришки розвантажувального люка в процесі вертикальних коливань. Саме такий випадок був свого часу розглянутий такими відомими вченими, як В. Н. Стоговим [5], І. П. Кривцовим [23], В. А. Мироненко [23].

Експериментальні дослідження показали, що залежність стійкості призми вантажу зсуву від часу вібраційного очищення, а, отже і кількість залишків насипних вантажів у кузові НВ, носить експоненціальний характер. Кількість залишків вантажу у кузові НВ протягом часу вібраційного розвантаження може бути визначена по формулі

$$m(t) = m_0 \cdot e^{-K_p \cdot t}, \tag{3}$$

де  $m_0$  – загальна маса залишків вантажу в кузові НВ;  $K_p$  – коефіцієнт інтенсивності розвантаження;  $t$  – час очищення.

Для складання диференційного рівняння, яке б описувало коливальний процес системи “Напіввагон-Вібратор-Вантаж” використовувалися положення теоретичної механіки [24, 25]. Враховувалося, що маса вантажу в кузові НВ протягом часу вібророзвантаження буде змінюватись по закону (3). При цьому згідно



[5] нехтуємо опором у фрикційних гасниках коливань вантажних візків. Система диференціальних рівнянь, що описує процес вібраційного розвантаження НВ, матиме наступний вигляд

$$\begin{cases} (m + m_0 \cdot e^{K_p \cdot t}) \cdot \ddot{x} + 2 \cdot c \cdot \dot{x} + \\ + c(b_1 + \Delta b \cdot e^{K_p \cdot t} + b_2 + \Delta b \cdot e^{K_p \cdot t}) \cdot \phi = H \cdot \sin(\omega \cdot t), \\ (J + J_0 \cdot e^{K_p \cdot t}) \cdot \ddot{\phi} + c \cdot (b_1 + \Delta b \cdot e^{K_p \cdot t} + b_2 + \Delta b \cdot e^{K_p \cdot t}) \cdot x + \\ + c \cdot [(b_1 + \Delta b \cdot e^{K_p \cdot t})^2 + (b_2 + \Delta b \cdot e^{K_p \cdot t})^2] \cdot \phi = H \cdot b_n \sin(\omega \cdot t), \end{cases} \quad (4)$$

де  $\phi$  – обертальне переміщення системи “Напіввагон-Вібратор-Вантаж”;  $J$  – момент інерції системи “Напіввагон-Вібратор-Вантаж”;  $J_0$  – момент інерції залишків вантажу;  $b_1$  та  $b_2$  – відстань від ЦМ системи “Напіввагон-Вібратор-Вантаж”, відповідно, до візка, над яким встановлено вібратор, і до візка, над яким немає вібратора;  $H$  – амплітуда змушуючої сили;  $\omega$  – кругова частота змушуючої сили;  $b_n$  – відстань від лінії дії змушуючої сили до ЦМ системи “Напіввагон-Вібратор-Вантаж”;  $\Delta b$  – зсув центра мас системи “Напіввагон-Вібратор-Вантаж” від заповненого до порожнього стану;  $m$  – маса кузова НВ і вібратора, кг;  $m_0$  – маса залишків вантажу в кузові НВ, кг;  $x$  – лінійне переміщення системи;  $c$  – жорсткість ресорного комплекта вантажного візка НВ;  $\omega$  – кругова частота змушуючої сили;  $t$  – час.

Нехтуючи вільними коливаннями системи “Напіввагон-Вібратор-Вантаж” [24], отримуємо значення максимальних прискорень системи, значення яких є необхідними для оцінки навантаженості кузовів НВ.

### 5. Теоретичні дослідження навантаженості кузова напіввагону в процесі вібраційного розвантаження

Для забезпечення можливості теоретичної оцінки навантажень елементів кузовів НВ в процесі їх вібраційного очищення накладними вібромашинами була розроблена нова скінченно-елементна модель кузова НВ (рис. 4). Для створення скінченно-елементної моделі кузова НВ був використаний програмний комплекс “Ліра”. Скінченно-елементна модель НВ складається з більш, ніж 77 тис. вузлів і більш ніж 77 тис. скінченних елементів (СЕ), має 6 ступенів свободи.

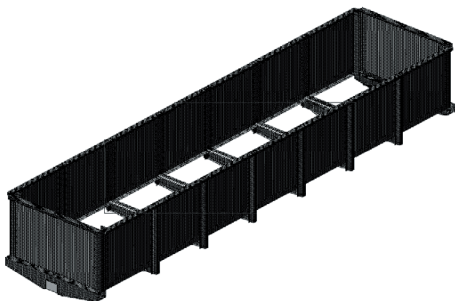


Рис. 4. Загальний вигляд скінченно-елементної моделі кузова НВ

Хребтова, кінцеві, шкворневі і поперечні балки, кінцеві, шкворневі і проміжні стійки, верхній і нижній

обв'язувальні пояси, а також обшивка кузова НВ моделювалися з 4-х і 3-х вузлових пластинчастих СЕ згідно з конструкторською документацією на НВ. Жорсткості ресорних комплектів моделювалися за допомогою СЕ, що імітують пружні зв'язку уздовж вертикальної осі Z. Переміщення тих вузлів верхньої обв'язки НВ, які безпосередньо контактували з вібромашиною, об'єднувалися в напрямку вертикальної осі Z.

Навантаження кузова НВ в процесі розвантаження накладної вібромашини складалися з власної ваги елементів НВ і вібромашини, а також змушуючої сили вібромашини. Власна вага елементів кузова НВ і вібромашини розподілявся по вузлах. Змушуюча сила вібромашини протягом часу вібраційної розвантаження змінювалася за синусоїдальним законом з частотою змушуючої сили вібраторів вібромашини.

Результатами розрахунку були напруження у всіх елементах кузова НВ протягом всього часу розвантаження. На рис. 5 наведений графік зміни напружень в шкворневій стійці напіввагону.

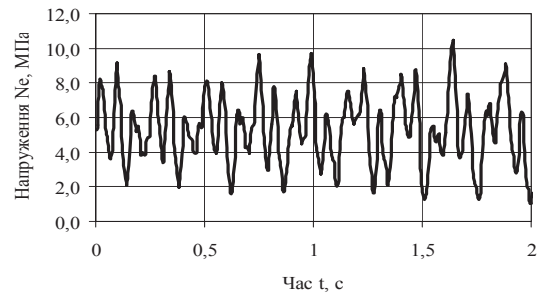


Рис. 5. Графік зміни напружень в шкворневій стійці напіввагону

За результатами розрахунків були визначені найбільш навантажені елементи кузова НВ, а також визначені максимальні напруження в них.

### 6. Експериментальні дослідження процесу вібраційного розвантаження і навантаженості кузова напіввагону

Метою досліджень є перевірка адекватності запропонованих математичної і скінченно-елементної моделей. Дослідження проводилися на території вантажного двора станції “Харків-Ліски”.

На елементи НВ встановлювалися тензодатчики для виміру напружень, а також акселерометри для визначення прискорень кузова (рис. 6).



Рис. 6. Напіввагон з тензодатчиками і акселерометрами

Результати експериментальних досліджень довели, що запропоновані математична і скінченно-елементні моделі достатньо точно описують процес вібраційного розвантаження НВ накладною вібромашиною (рис. 7) і можуть бути використані для теоретичної оцінки навантаженості кузова НВ.

Також було встановлено, що під час роботи вібромашини Урал-7771 шкворневі стійки НВ відчувають надмірне навантаження, яке може вплинути на їх ресурс.



Рис. 7. Результати дослідження прискорень кузова напіввагону в процесі вібраційного розвантаження

Для оцінки ресурсу цих елементів кузова НВ була використана методика, що наведена в [26]. Результати розрахунків показали, що ці елементи потребуватимуть позапланових ремонтів майже кожного року.

### 7. Дослідження впливу основних параметрів вібраційних машин на ефективність процесу розвантаження напіввагонів

Для підвищення ефективності вібраційних розвантажувальних машин необхідно вибрати раціональні основні параметри джерел вібрації, до основних параметрів джерел вібрації відносяться амплітуда змушуючої сили та її частота.

Величина амплітуди змушуючої сили вібромашин обумовлена чинними нормативними документами [3, 4], тому її нарощування є неможливим.

Іншим основним параметром вібромашин є частота змушуючої сили, значення якої в чинних нормативних документах [3, 4] не лімітується. З курсу теоретичної механіки [24, 25, 27] відомо, що при зменшенні частоти змушуючої сили амплітуда цих коливань зростає, що може скоротити тривалість розвантаження. Для перевірки висунутої гіпотези була створена фізична модель кришки розвантажувального люка НВ та проведені дослідження швидкості висипання вантажу з неї під дією вібраційних навантажень. Результати досліджень показали, що зменшення частоти вібрації з 25 до 16 Гц скорочує тривалість розвантаження на

17–29 %, особливо цей вплив помітний на злежалому насипному вантажі.

Для перевірки навантажень, що виникають в кузові НВ в процесі вібраційного розвантаження при різних частотах змушуючої сили була використана запропонована скінченно-елементна модель кузова НВ. Навантаження обчислювалися в стійкій шкворневій, обшивці та обв'язці верхній при частотах змушуючої сили 5, 12, 14, 16, 20 і 25 Гц. На рис. 8 наведений графік залежності максимальних напружень в шкворневій стійці від частоти змушуючої сили.

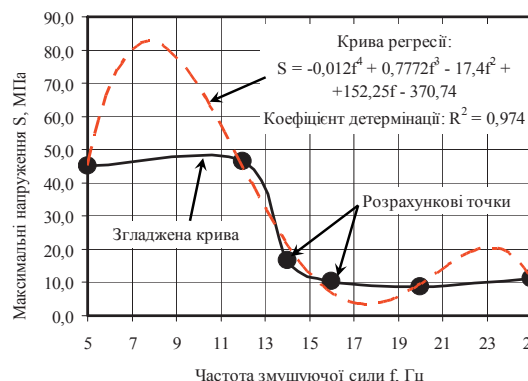


Рис. 8. Графік залежності максимальних напружень в шкворневій стійці від частоти змушуючої сили

Результати досліджень показали, що в інтервалі частот від 15 до 25 Гц значення максимальних напружень в конструктивних елементах НВ коливаються несуттєво. При зменшенні частоти змушуючої сили нижче 15 Гц максимальні напруження починають стрімко зростати. Звідси можна дійти висновку, що для підвищення ефективності розвантаження насипних вантажів з НВ у вібромашинах слід застосовувати джерела вібрації з частотою близько 15 Гц.

### 8. Висновки

За результатами наведених вище досліджень було запропоновано зниження частоти змушуючої сили вібраційних розвантажувальних машин до рівня близько 15 Гц. Промисловістю випускаються вібраційні двигуни з частотою вібрації 16 Гц, які були застосовані для створення нової конструкції накладної вібраційної машини для розвантаження насипних вантажів з НВ. Її продуктивність приблизно на 20 % вища, а напруження в найбільш навантажених елементах кузова НВ у 4 рази менші за Урал-7771, що позбавляє необхідності у позаплановому ремонті НВ через їх вібраційне розвантаження. На Державному підприємстві «Вінницятрансприлад» розпочате серійне виробництво запропонованої вібромашини. Очікуваний економічний ефект від її впровадження становитиме близько 600 тис. грн. в розрахунку на одну машину.

### Література

1. Паров, П. Г. Исследование и создание устройства с боковой вибрацией для разгрузки и очистки полувагонов от остатков сыпучих грузов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / П. Г. Паров. – Харьков, 1975. – 172 с.

2. Романович, Е. В. Удосконалення технічних засобів для очищення піввагонів від залишків сипучих вантажів [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Е. В. Романович. – Харків, 1999. – 128 с.
3. ГОСТ 22235-76. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ [Текст] / Введ. 1978.01.01. – М.: Государственный совет СССР по стандартам; М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. – 35 с.
4. Сендеров, Г. К. Изменения и дополнения к межгосударственному стандарту (ГОСТ 22235-76) по сохранности грузовых вагонов [Текст] / Г. К. Сендеров, А. П. Ступин, С. А. Другаль, Е. А. Поздина // Ж.-д. трансп. Сер. Вагоны и вагонное хозяйство. - 1999. - Вып. 3. - С.1-32.
5. Стогов, В. Н. Погрузочно-разгрузочные машины [Текст] / В. Н. Стогов, Д. С. Плюхин, Г. П. Ефимов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1977. – 312 с.
6. Ищенко, В. Ф. Выбор щеточного механизма для очистных машин [Текст] / В. Ф. Ищенко, П. И. Пузырьков // Речной транспорт. – 1972. – №5. – с. 32.
7. А. с. 156467 СССР, МПК6 В 65 G 67/24. Вибратор для разгрузки полувагонов [Текст] / С. А. Другаль, В. В. Зубарев, В. И. Иванов (СССР). – № 771484/27-11; заявл. 29.03.62; опубл. 01.01.63, Бюл. № 15. – 3 с.: ил.
8. А. с. 552263 СССР, МКИ7 В 65 G 67/24. Навесное устройство для разгрузки и очистки полувагонов от остатков сыпучих грузов [Текст] / В. Н. Стогов, И. П. Кривцов, В. А. Мироненко, П. Г. Паров, Н. А. Гастелло (СССР). – №1965589/11; заявл. 05.10.73; опубл. 30.03.77, Бюл. №12. – 3 с.: ил.
9. А. с. 1796572 А1 СССР, МПК5 В 65 G 67/24. Вибратор для разгрузки вагонов [Текст] / Э. Н. Морозов, Е. А. Иконников, В. И. Бех, В. П. Шаплеин, В. Н. Харламов (СССР). – № 4884398/11; заявл. 16.11.90; опубл. 23.02.93, Бюл. №7. – 5 с.: ил.
10. А. с. 652070 СССР, МПК5 В 65G 67/24. Навесное устройство для разгрузки и очистки полувагонов от остатков сыпучих грузов [Текст] / В. К. Бешкетов, Ю. Л. Корытько, А. Н. Котенко, И. П. Собкалов, А. П. Шиш, Э. В. Шледевич (СССР). – № 3752048/27-11; заявл. 07.06.84; опубл. 30.11.85, Бюл. №44. – 3 с.: ил.
11. А. с. 1117238 СССР, МПК5 В 60 S 3/04. Устройство для очистки полувагонов от остатков сыпучих грузов [Текст] / А. И. Гребцов (СССР). – № 3600718/27-11; заявл. 03.06.83; опубл. 07.10.84, Бюл. №37. – 4 с.: ил.
12. Патент 68185 UA, МПК В 65G 67/24 (2006.01) Навісний електромеханічний вібратор для піввагонів [Текст] / Романович Е. В., Коновалов Є. В., Афанасов Г. М., Бабенко А. О., Повороженко Є. В.; заявник Укр. держ. академія залізнич. трансп. - № a2010 13776; заявл. 19.11.2010; опубл. 26.03.2012, Бюл. № 6. - 3 с.: ил.
13. Патент 99360 UA, МПК В 65G 67/24 (2006.01) Пристрій для вібраційного розвантаження вагонів-хоперів [Текст] / Романович Е. В., Афанасов Г. М., Повороженко Є. В.; заявник Укр. держ. академія залізнич. трансп. - № a2010 13872; заявл. 22.11.2010; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 15. - 4 с.: ил.
14. Долгих, К. О. Экспериментальное исследование вибронгруженности кузова полувагона [Текст] / К. О. Долгих, В. Ф. Лапшин // Вестник транспорта Поволжья. – 2012. – №2. – С. 34-42.
15. Лапшин, В. Ф. Оценка сопротивления усталости элементов кузова полувагона при воздействии накладных вибротам [Текст] / В. Ф. Лапшин, К. М. Колясов, В. Б. Свердлов, Г. К. Сендеров, А. Н. Глухих, О. В. Тюленев, А. Н. Феодоров // Транспорт Урала. - 2008. - № 4. - С. 53-58.
17. Гребцов, А. И. Разработка способа очистки полувагонов от остатков сыпучих грузов навесными воздуходувными устройствами [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / А. И. Гребцов. – Харьков, 1990. - 141 с.
18. Rail Car Vibrators [Электронный ресурс]: National air vibrations company // KJN Enterprises. - 2013. - Режим доступа: [http://www.kjnenterprises.com/rail\\_car\\_vibrators.html](http://www.kjnenterprises.com/rail_car_vibrators.html).
19. Railway wagon unloader [Электронный ресурс]: VSS products // Vibration system & solutions (Australia). - 2013. - Режим доступа: <http://www.vibrationsystems.com.au/railwaywagon.asp>.
20. Безухов, Н. И. Теория сыпучих тел [Текст]: примеры и упражнения по теории сооружений / Н. И. Безухов. - Изд. 3-е, перераб. и доп. - М.: Госстройиздат, 1934. - 110 с.
21. Зенков, Р. Л. Механика насыпных грузов [Текст] / Р. Л. Зенков. - Изд. 2-е, испр. и перераб. - М.: Машиностроение, 1964. - 225 с.
22. Клейн, Г. К. Строительная механика сыпучих тел [Текст] / Г. К. Клейн. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1977. - 256 с.
23. Кривцов, И. П. Виброустройства для очистки полувагонов от остатков груза [Текст] / И. П. Кривцов, В. А. Мироненко, П. Г. Паров // Промышленный транспорт. – 1979. – №1. – с. 14-16.
24. Пановко, Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара [Текст] / Я. Г. Пановко. - Изд. 3-е, доп. и переработ. – Л.: Машиностроение, 1976. - 320 с.
25. Тимошенко, С. П. Колебания в инженерном деле [Текст] / С. П. Тимошенко. – М., Наука, 1967. - 444 с.
26. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст] / Министерство путей сообщения СССР. - М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996.- 317с.
27. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики [Текст]: в 2 ч. Ч. 2. Динамика: Учеб. для тех. вузов / А. А. Яблонский. - 3-е изд., испр. - М.: Высшая школа, 1966. - 411 с.
28. Rail Car Vibrators [Электронный ресурс]: National air vibrations company // KJN Enterprises. - 2013. - Режим доступа: [http://www.kjnenterprises.com/rail\\_car\\_vibrators.html](http://www.kjnenterprises.com/rail_car_vibrators.html).