

Султан Олександр Васильович

УДК 629.463.67.001.5

**ВІЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ ВАГОНІВ-САМОСКИДІВ
ПРИ УДАРІ ПАДАЮЧИМ ВАНТАЖЕМ З МЕТОЮ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЦНОСТІ**

05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Дніпропетровськ – 2001

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в галузевій науково дослідній лабораторії динаміки і міцності рухомого складу Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту Міністерства транспорту України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
БЛОХІН Євген Петрович,
перший проректор Дніпропетровського державного
технічного університету залізничного транспорту,
науковий керівник Галузевої науково-дослідної лабораторії
динаміки та міцності рухомого складу.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Богомаз Георгій Іванович,

завідувач відділом “Коливання і стійкість механічних систем”

Інституту технічної механіки НАН України;

- кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Хачапуридзе Микола Михайлович,

завідувач відділом “Динаміка та міцність нових видів транспорту” інституту
транспортних систем і технологій НАН України “Трансмаг”

Провідна установа

НТБ
ДНУЗТ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальна технічна проблема транспортного машинобудування – створення великовантажних вагонів-самоскидів (думікарів), призначених для важких умов роботи.

Для перевезення розкривних порід і корисних копалин на гірничодобувних підприємствах (кар'єрах) одним з основних видів транспортних засобів є вагони-самоскиди. Під час завантаження гірської маси - найбільш небезпечному режимі роботи вагонів-самоскидів в кар'єрах - часто відбувається падіння брил великої маси на незахищену підлогу кузова. Ефективним захистом думп-кара від руйнуючого впливу масивних брил є застосування в конструкції настилу помосту кузова вагона броньового листа і амортизуючого прошарку. Як правило, матеріали і пристрої, що можуть бути використані в якості амортизації підлоги кузова думпкарів, мають нелінійні жорсткісні характеристики. Це значно ускладнює розв'язання динамічної задачі про ударне навантаження. Існуючі ж математичні моделі (методики) розрахунку думпкарів на удар брилою не дозволяють з достатнім ступенем точності провести порівняння нелінійних механічних характеристик матеріалів і пристроїв, пропонує як амортизацію. Крім того, досвід експлуатації та випробувань показує, що при падінні твердих масивних тіл на незахищену підлогу вагона мають місце залишкові деформації. У зв'язку з цим розробка математичної моделі для дослідження напружено-деформованого стану (НДС) вагонів-самоскидів, що враховує нелінійні властивості матеріалу настилу помосту, при ударі брилою великої маси по незахищеній підлозі кузова вагона дозволить ще на стадії проектування вибирати раціональні параметри конструкцій вагона, які б забезпечили необхідну міцність для заданих умов експлуатації, і являє собою **актуальну наукову проблему**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є складовою частиною досліджень, що виконані в галузевій науково-дослідній лабораторії динаміки та міцності рухомого складу (ГНДЛ ДМРС) Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту (ДНТУ) за планом тематичних держбюджетних робіт Міністерства транспорту України (держбюджетна тема №98.02.97.2000 "Теоретичне та експериментальне дослідження міцності рухомого складу України", №держ. реєстрації 0199U001443, в якій здобувач був відповідальним виконавцем) та за госп. договорами з ВАТ "Стаханівський вагонобудівний завод" (госп. тема №91.186.99.2000 "Експертна оцінка динамічних (ходових і міцнісних) якостей модернізованого шестивісного вагона-самоскида вантажопідйомністю 105 т моделі 33-9035", №держ. реєстрації 0199U001438) і з ОКБ "Транспортер" м. Луганськ (госп. тема №91.122.94.94 "Випробування восьмивісного вагона-самоскида моделі 34-9019 на удар падаючим вантажем при завантаженні", №держ. реєстрації 0194U028474).

Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягає в забезпеченні міцності великовантажних вагонів-самоскидів при найбільш небезпечному режимі роботи - завантаженні шляхом визначення раціональних параметрів несучих елементів конструкції. Для досягнення сформульованої мети були поставлені та вирішені наступні задачі:

- розробка математичної моделі для динамічного розрахунку на міцність вагонів-самоскидів з урахуванням місцевих пластичних деформацій із застосуванням об'єднаної теорії удару Сірса-Тимошенка;
- розробка способу урахування нелінійних властивостей матеріалу амортизуючого прошарку настилу помосту кузова думпкара;
- удосконалення методики оцінки НДС несучих елементів конструкції вагонів-самоскидів при ударному навантаженні падаючим вантажем;
- створення алгоритму й програм для проведення розрахунків з використанням ПЕОМ за пропонованою методикою;
- апробація розробленої методики дослідження ударного навантаження в умовах натурного експерименту;
- проведення досліджень навантаженості вагонів-самоскидів з метою вибору конструкції, що має необхідну міцність для заданих умов експлуатації.

Об'єкт досліджень – ударне навантаження вагонів-самоскидів зосередженням падаючим вантажем.

Предмет дослідження – визначення напружено-деформованого стану елементів конструкції вагонів-самоскидів.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базуються на застосуванні методів математичного моделювання. Моделювання динамічних процесів при ударному навантаженні здійснювалося за допомогою теорії удару Сірса-Тимошенка та теорії коливань із застосуванням методу кінцевих елементів (МКЕ). Числове інтегрування системи лінійних диференціальних рівнянь руху падаючого вантажу і досліджуваної конструкції здійснювалось за допомогою методу Н'юмарка. Для оцінки міцності досліджуваної конструкції застосовувалася прикладна теорія пружності. Вірогідність результатів математичного моделювання перевірялася шляхом зіставлення з даними натурних дослідів, отриманих за допомогою сучасних методів тензометрії та обробки даних.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що вперше:

- розроблено математичну модель ударного навантаження вагонів-самоскидів масивним падаючим тілом, яка дозволяє враховувати нелінійні механічні властивості амортизуючого прошарку настилу помосту і місцеві пластичні деформації підлоги кузова вагона в зоні удару;
- вирішено динамічну задачу про ударне навантаження вагона-самоскида та його НДС з урахуванням нелінійних властивостей амортизуючого прошарку і місцевих пластичних деформацій;

— проведено зіставлення залежності ударної сили, одержаній розрахунковим шляхом, від часу з аналогічною залежністю, яку записано при проведенні натурних випробувань вагона-самоскида на удар падаючим вантажем-бойком.

Практичне значення роботи полягає в розробці методики оцінки НДС інженерних конструкцій при ударі масивними падаючими тілами, яка дозволяє враховувати реальні (у тому числі і нелінійні) механічні властивості досліджуваної конструкції. Розроблене при цьому математичне і програмне забезпечення може бути використано для вирішення широкого кола задач, зв'язаних з розрахунком на міцність транспортних засобів (удар брилою по кузову вагона або автомобіля при завантаженні), інженерних споруджень (удар масивним тілом по перекриттю) та інші. На підставі розрахунків, отриманих за допомогою запропонованої методики, надано рекомендації ВАТ “Стаханівський вагонобудівний завод” щодо виготовлення несучих елементів конструкції кузова вагона-самоскида моделі 34-9019, два дослідні зразки якого зараз експлуатуються на Полтавському ГЗК. Застосування створеної методики дослідження ударного навантаження дозволяє іде на стадії проектування визначати раціональні параметри інженерних конструкцій.

Особистий внесок здобувача. В роботах [7,2] удосконалена математична модель ударного навантаження вагона-самоскида, в частині моделювання нелінійних механічних властивостей матеріалу амортизуючого прошарку і місцевих пластичних деформацій підлоги кузова в зоні удару. Складено програму розрахунку на міцність несучих елементів конструкції вагонів і удосконалено програму розрахунку на удар падаючим зосередженим вантажем. Одержані результати динамічного розрахунку на міцність думпкарів моделей 33-677, 33-9035 і 34-9019, які висвітлені в роботах [1,3]. Приймав участь у натурних випробуваннях на ударне навантаження падаючим вантажем вагонів-самоскидів моделей 33-677 та 33-9035.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідалися на VIII, IX і X Міжнародних конференціях “Проблеми механіки залізничного транспорту” (травень 1992 р., 1996 р. і 2000 р., ДІПТ, Дніпропетровськ), міжкафедрального семінару Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту.

Публікації. Основні результати дисертації відображені в 5 статтях (2 без співавторів), з яких 3 опубліковано в фахових збірниках наукових праць і 5 тезах доповідей на Міжнародних конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 100 найменувань та двох додатків. Рукопис містить 147 сторінок машинописного тексту, у тому числі 17 таблиць і 35 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі міститься обґрунтування теми роботи, визначення мети і постановка задач дослідження, описується наукова новизна роботи та її практична цінність.

У першому розділі приведено огляд літератури, присвяченої розвитку теорії удару, теоретичним і експериментальним методам дослідження ударних процесів і міцності конструкцій, зроблено вибір напрямку дослідження.

Теорія удару отримала розвиток насамперед завдяки працям Галілея, Н'ю-тона, Нав'є, Юнга, Кокса, Сен-Венана, Бусінеска, Герца, Сірса, Тимошенка та інших. Основні результати дослідження механічного удару, вивчення поведінки матеріалів і конструкцій при динамічних навантаженнях імпульсного характеру містяться в роботах В.Л. Бідермана, Є.Г. Голоскокова, Н.Н. Давіденкова, О.Н. Дінніка, О.Ю. Ішлінського, Н.О. Кільчевського, Я.Г. Пановко, С.П. Тимошенко, И.Я. Штаермана, А.П. Філіпова та інших. Стосовно до вагонів (думпкарів у тому числі) теоретичним і експериментальним дослідженням ударного навантаження присвячені роботи В.В. Багрєєва, Й.Г. Барбаса, Є.П. Блохіна, Г.І. Богомаза, А.А. Драгоненко, С.А. Костриці, В.А. Лазаряна, Л.Н. Нікольського, М.П. Островерхова, В.І. Панасенко, М.А. Панькіна, В.С.Плоткіна та інших.

Простежено основні етапи еволюції методики розрахунку вагонів-самоскидів на удар падаючою брилою. Проведено аналіз існуючої методики розрахунку і відзначено ряд недоліків: 1) на етапі динамічного розрахунку при визначенні ударної сили не розглядаються поперечні балки, які безпосередньо сприймають удар; 2) при статичному розрахунку на міцність достовірно напруження визначено тільки поблизу зони удару; 3) задача вирішується в лінійній постановці, незважаючи на нелінійну механічну характеристику амортизуючого прошарку; 4) розглядаються лише пружні деформації, хоча в підлозі кузова в зоні удару виникають значні пластичні деформації.

На підставі проведеного аналізу для вирішення задачі про удар брилою по незахищеній підлозі вагона-самоскида обрана теорія удару Сірса-Тимошенко з урахуванням місцевих пластичних деформацій, для моделювання коливань вагона застосовано МКЕ в динамічній постановці.

У другому розділі викладено математичну модель динамічного розрахунку на міцність вагонів-самоскидів при поперечному ударі брилою з врахуванням нелінійних властивостей амортизуючого прошарку і пружно-пластичних місцевих деформацій настилу помосту. Приведено динамічний розрахунок на міцність вагона-самоскида моделі 33-677

Вагон-самоскид розглядається як система лінійно-пружних тіл (верхній і броньовий листи, верхня рама з лобовою стінкою і бортами, нижня рама з обрєсореними частинами візків), зв'язаних між собою нелінійними в'язями. Падаюча

брила представляється деформованим твердим тілом, рух якого до удару відповідає закону вільного падіння. З моменту ж торкання брилою підлоги вагона на неї діє ударна сила і власна вага.

Робота амортизуючого прошарку і вільне обпирання (однобічні в'язі) верхньої рами на нижню моделюються за допомогою нелінійних в'язів. Нелінійна в'язь - пара рівних за величиною сил, діючих на елементи конструкції, які вони зв'язують, уздовж прямої з протилежними знаками. Далі ці сили будемо називати силами взаємодії.

Рух досліджуваної конструкції та падаючого тіла при ударі описується системою звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} [M_1] \cdot \ddot{X} + [K_1] \cdot X = B \cdot F_{yo} - \sum_{i=1}^n D_{1i} \cdot F_i; \\ [M_2] \cdot \ddot{Y} + [K_2] \cdot Y = \sum_{i=1}^n D_{2i} \cdot F_i; \\ M \cdot \ddot{z} = -F_{yo} + Mg; \end{cases} \quad (1)$$

з початковими умовами: $X_{t=0} = 0$, $Y_{t=0} = 0$, $z_{t=0} = 0$; $\dot{X}_{t=0} = 0$, $\dot{Y}_{t=0} = 0$, $\dot{z}_{t=0} = v_0$.

Тут $[M_i]$, $[K_i]$ - матриці мас і жорсткості ансамблю кінцевих елементів, що представляють верхній та броньовий листи; $[M_2]$, $[K_2]$ - аналогічні матриці верхньої та нижньої рам, що враховують масу обресореної частини візка і жорсткість пружин ресорного комплексу; $X, \dot{X}, Y, \dot{Y}$ - вектори переміщень і прискорень відповідно броньового листа і рам вагона; $M, v, \dot{z}$ - маса, швидкість і прискорення центра ваги падаючого тіла; F_{yo} - ударна сила, яка прикладається в точках контакту до броньового листа і падаючого тіла; F_i - i -а сила взаємодії, що моделює роботу амортизуючого прошарку, між броньовим листом і верхньою рамою; B - вектор, який задає місце прикладання сили F_{yo} ; D_{1i}, D_{2i} - вектори, що визначають місця прикладання сил взаємодії F_i до броньового листа і верхньої рами вагона-самоскида відповідно.

Застосувавши процедуру методу Н'юмарка для системи диференціальних рівнянь (1), одержуємо співвідношення для визначення на кроці $t + \Delta t$ переміщень вузлових точок досліджуваної конструкції і центра ваги падаючого тіла

$$\begin{cases} X(t + \Delta t) = B^* \cdot F_{yo}(t + \Delta t) - \sum_{i=1}^n D_{1i}^* \cdot F_i(t + \Delta t) + \Phi^*(t, X); \\ Y(t + \Delta t) = \sum_{i=1}^n D_{2i}^* \cdot F_i(t + \Delta t) + \Phi^*(t, Y); \\ z(t + \Delta t) = (Mg - F_{yo}(t + \Delta t) + \varphi(t, z)) \cdot \Delta t^2 / 2M \end{cases} \quad (2)$$

де $B^* = [K_1]^{-1} \cdot B$; $D_{1i}^* = [K_1]^{-1} \cdot D_{1i}$; $\Phi^*(t, X) = [K_1]^{-1} \cdot \Phi(t, X, \dot{X}, \ddot{X})$;

$D_{2i}^* = [K_2]^{-1} \cdot D_{2i}$; $\Phi^*(t, Y) = [K_2]^{-1} \cdot \Phi(t, Y, \dot{Y}, \ddot{Y})$.

Тут $[K_i^*]^{-1}$, $[K_z^*]^{-1}$ - обернені ефективні матриці жорсткості досліджуваної конструкції.

Рівняння зв'язку для визначення ударної сили на конкретний момент часу $t - \Delta t$ складається відповідно до теорії удару Герца з врахуванням місцевих пластичних деформацій і має вигляд:

$$z - x_m = \bar{k} \cdot F_{y\partial}^{2/3} + \beta, \quad (3)$$

де z - переміщення центра ваги падаючого тіла; x_m - переміщення плити в точці контакту з падаючим тілом; $\bar{k}$ - коефіцієнт піддатливості.

Пластична складова зближення плити та падаючого тіла β зв'язана з ударною силою $F_{y\partial}$ кусочно-лінійною залежністю:

$$\beta = \begin{cases} 0, & \text{якщо } F_{y\partial} \leq F_p \text{ і } F_{y\partial} - \text{зростає}; \\ X(F_{y\partial} - F_p), & \text{якщо } F_{y\partial} > F_p \text{ і } F_{y\partial} - \text{зростає}; \\ \beta_{\max}, & \text{якщо } F_{y\partial} < F_{\max} \text{ і } F_{y\partial} - \text{убуває}, \end{cases} \quad (4,а)$$

де F_p - значення ударної сили, після перевищення якого виникають пластичні деформації підлоги в зоні контакту; X - емпіричний коефіцієнт, що вибирається на підставі даних натурних випробувань думпкара при скиданні металевого вантажу-бойка на незахищену підлогу кузова і придатний для думпкарів подібних конструкцій; $\beta_{\max}$ і $F_{\max}$ - найбільші значення β і $F_{y\partial}$ відповідно. При повторних зіткненнях ударна сила може не перевищити величину $F_{\max}$, досягнуту при попередніх зіткненнях, тоді внаслідок зміцнення матеріалу взагалі не будуть виникати додаткові пластичні деформації в зоні контакту. Якщо ж ударна сила перевищить $F_{\max}$, то залежність $\beta = \beta(F_{y\partial})$ буде відрізнятися від (4,а) і прийме вигляд:

$$\beta = \begin{cases} \beta_{\max}, & \text{якщо } F_{y\partial} \leq F_{\max} \text{ і } F_{y\partial} - \text{зростає}; \\ X(F_{y\partial} - F_p), & \text{якщо } F_{y\partial} > F_{\max} \text{ і } F_{y\partial} - \text{зростає}; \\ \beta_{\max}^*, & \text{якщо } F_{y\partial} < F_{\max}^* \text{ і } F_{y\partial} - \text{убуває}. \end{cases} \quad (4,б)$$

Тут $\beta_{\max}^*$ і $F_{\max}^*$ - нові максимальні значення величин β і $F_{y\partial}$.

Сили взаємодії визначаються з рівнянь зв'язку, складених на підставі пружних властивостей амортизуючого матеріалу (пристрою), конструкції верхньої рами думпкара та її розбивки на кінцеві елементи:

$$F_i = f(x_i, y_i, \beta), \quad i = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Тут x_i і y_i - переміщення точок броньового листа і верхньої рами, відносно переміщення яких визначає ступінь стиску амортизуючого прошарку в місці прикладання i -ої сили взаємодії. Якщо функція $f(\Delta)$ заздалегідь не відома, її можна одержати в результаті експерименту шляхом побудови діаграми стиску. Як правило, ця функція нелінійна.

Після лінеаризації система (5) прийме вигляд:

$$F_i(t + \Delta t) = k_i \{e_i^l \cdot [x_i(t + \Delta t) + \delta_{im} \gamma \beta - y_i(t + \Delta t)] + f_i^l\} \quad i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

де k_i - коефіцієнт, що враховує конструкцію верхньої рами вагона-самоскида та залежить від розбивки її на кінцеві елементи; e_i - модуль пружності на l -ій ділянці лінеаризованої діаграми стиску; $f_i = f_{i-1} - (e_i - e_{i-1}) \cdot \Delta_{i-1}$, ($f_0 = 0$); δ_{im} - дельта функція; n - кількість нелінійних в'язів; m - номер нелінійної в'язі, яку прикладено до броньового листа в точці контакту з падаючим тілом; γ ($0 < \gamma < 1$) - емпіричний коефіцієнт, який дозволяє пластичні деформації в місці удару розкласти на вдавнення падаючого вантажу в тіло, що ударяється, і залишкові згинні деформації плити.

Підставивши до (6) з (2) вирази перемішень відповідних вузлових точок, за допомогою яких задаються нелінійні в'язі, одержуємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь для визначення сил взаємодії, у правій частині якої присутня невідома $F_{y0}(t + \Delta t)$:

$$\sum_{j=1}^n (d_{1ij}^* + d_{2ij}^* + \delta_{ij} \cdot k_i e_i^l) F_j(t + \Delta t) = b_i^* F_{y0}(t + \Delta t) + \delta_{im} \gamma \beta + \varphi_i^*(t, x) - \varphi_i^*(t, y) + f_i^l / e_i^l, \quad i = \overline{1, n}; \quad (7)$$

Розв'язання системи (7) представимо у вигляді:

$$F_i(t + \Delta t) = c_{1i} F_{y0}(t + \Delta t) + c_{2i}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Рівняння зв'язку (3) після підстановки з (2) виразів відповідних перемішень прийме вигляд:

$$\frac{\Delta t^2}{4} (g - F_{y0}(t + \Delta t) / M + \varphi(t, z)) - b_m^* F_{y0}(t + \Delta t) + \sum_{i=1}^n d_{lim}^* F_i(t + \Delta t) - \varphi_m^*(t, x) = \bar{k} \cdot F_{y0}^{2/3}(t + \Delta t) + \beta_1 F_{y0}(t + \Delta t) + \beta_2. \quad (9)$$

Пластичну деформацію броньового листа в зоні контакту розкладена на лінійну складову $\beta_1 F_{y0}(t + \Delta t)$ і сталу β_2 .

Якщо до (9) ввести позначення $X = F_{y0}^{1/3}(t + \Delta t)$, тоді рівняння зв'язку для визначення ударної сили на момент часу $t + \Delta t$ запишеться у вигляді кубічного рівняння:

$$a_0 X^3 + a_1 X^2 + a_3 = 0, \quad (10)$$

$$\text{де } a_0 = \frac{\Delta t^2}{4M} + b_m^* - \sum_{i=1}^n d_{lim}^* c_{1i} + \beta_1, \quad a_1 = \bar{k};$$

$$a_3 = -\frac{\Delta t^2}{4} (g + \varphi(t, z) / M) - \sum_{i=1}^n d_{lim}^* c_{2i} + \varphi_m^*(t, x) + \beta_2$$

Рівняння (10) розв'язується на кожному кроці інтегрування. Сила $F_{y0} = X^3$ може приймати тільки додатні значення. У випадку $X < 0$ приймається $F_{y0} = 0$, що відповідає відриву бойка від поверхні підлоги кузова.

Знайдене з (10) значення ударної сили для моменту часу $t + \Delta t$, підставляємо до (8) і знаходимо значення сил взаємодії $F_i(t + \Delta t)$.

Таким чином, на кожному кроці інтегрування системи (1) необхідно додатково розв'язати систему лінійних алгебраїчних рівнянь (7) розмірності n і кубічне рівняння (10).

За програмою, що реалізує приведену вище математичну модель, проведено динамічний розрахунок на міцність вагона-самоскида моделі 33-677, призначеного для транспортування гірської маси щільністю до 4 т/м^3 і повинного забезпечувати необхідну міцність при скиданні в кузов окремих брил масою 4 т з висоти 3 м без попереднього підсилення вантажу дрібною фракції.

Динамічна задача дослідження НДС конструкції шестивісного вагона-самоскида при ударі чавуною кулею по незахищеній підлозі кузова вирішалася для різних варіантів амортизації:

- 1) два шари гуми завтовшки 24 мм кожний з прошарком пінополіетілену завтовшки 30 мм ;
- 2) три шари гуми завтовшки 24 мм кожний.

При вирішенні динамічної задачі визначалися значення параметрів ударного процесу (ударна сила, швидкість падаючого вантажу, зминання броньового листа в зоні удару та інші), поля переміщень досліджуваної конструкції і напруження в несучих елементах конструкції вагона-самоскида. Найбільші нормальні напруження в поперечних перерізах елементів верхньої рами для різних випадків ударного навантаження й амортизації підлоги приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Максимальні напруження (МПа) у верхній рамі вагона-самоскида моделі 33-677 при шкворньовому ударі

Енергія удару, КДж	Тип балки	Вид амортизації:	
		гума з пінополіетіленом	три шари гуми
39,2	Поперечна	240	250 (360)
	Поздовжня	180	190 (220)
58,8	Поперечна	340	360 (480)
	Поздовжня	260	280 (320)

З приведених у таблиці даних слідє, що при амортизації підлоги гумою з пінополіетіленом напруження в поперечних балках трохи нижче, ніж при амортизації підлоги однією гумою. У розрахунку використані механічні характеристики гуми, взяті з дослідів, під час яких зразки гуми мали можливість деформуватися в напрямку, перпендикулярному напрямку прикладання навантаження.

В реальних умовах даної вагонної конструкції амортизуючий прошарок не має такої можливості і фактична жорсткість гуми значно вище. У табл. 1 в дужках приведені значення напружень для такого випадку. Настільки великий розкид значень потребував перевірки експериментом, тому заводу-виробнику було рекомендовано обладнати дослідний зразок вагона-самоскида моделі 33-677 двома варіантами амортизуючого прошарку.

У *третьому розділі* наведено дані стендових випробувань на стиск різних видів амортизації, основні положення методики проведення випробувань на удар падаючим зосередженим вантажем і результати натурних випробувань вагона-самоскида моделі 33-677. Проведено зіставлення результатів розрахунку з експериментальними даними.

Експерименти з навантаження розвантаження зразків амортизуючого прошарку проводилися на машині УГ20/2. По петлях гістерезису були визначені модулі пружності та величини фактора механічних втрат випробуваних матеріалів. Ці дані використовувалися в динамічному розрахунку на міцність конструкції вагона-самоскида моделі 33-677 при ударі падаючим вантажем.

Методика проведення випробувань на удар падаючим вантажем установлює способи контролю:

- 1) напружено-деформованого стану елементів конструкції верхньої і нижньої рам вагона при дії ударного навантаження;
- 2) несучої здатності верхньої і нижньої рам за нормованими критеріями: напруженням, що допускаються, втраті стійкості поперечних перерізів балок, утворення тріщин, у тому числі, в зварних вузлах і з'єднаннях несучих елементів рам;
- 3) значення допустимої енергії удару за умов забезпечення несучої здатності елементів верхньої і нижньої рам вагона-самоскида.

При проведенні дослідів з ударного навантаження вантажем-бойком вагона-самоскида моделі 33-677 було виділено 5 основних зон удару, що розташовувалися на поздовжній вісі вагона. Зони А і Б розташовувалися в тій частині вагона-самоскида, де амортизація в настилі помосту складалася з двох шарів гуми і прошарку з пінополіетілену, зони Г і Д – там, де амортизаційний прошарок складався з трьох шарів гуми, в зоні В мало місце стикування двох, вище зазначених, видів амортизації.

Вантаж-бойок, який було виготовлено з чавуну, мав масу 2 т і сферичну нижню поверхню радіусом 60 см. Для збільшення маси бойка на його вісь монтувалися циліндри масою 1 т. Таким чином маса вантажу-бойка варіювалася від 2 до 4 тонн.

Досліди з ударного навантаження вагона-самоскида проводилися в два етапи. Перший етап полягав у послідовному навантаженні ударними наванта-

женнями всіх зон при реалізації енергії удару 19,6 кДж. При цьому реєструвалися процеси у всіх вимірюваних точках. На підставі одержаних даних, було відібрано контрольні групи точок для кожної зони.

На другому етапі випробувань досліді здійснювалися при реалізації енергії удару від 29,4 кДж до 117,6 кДж. Удари наносилися бойком масою 2, 3 і 4 т з висоти 1,5÷3 м. Експрес-обробка осцилограм для контрольних груп точок, візуальний огляд вагона, замір глибини і діаметра вм'ятин на верхньому листі підлоги робилися після кожного досліді.

При ударному навантаженні шкворньових зон А і Д найбільші величини напружень мали місце в поперечних балках і досягали динамічної границі текучості (430 МПа) у зоні А при енергії удару 73,5 кДж, у зоні Д при 49,0 кДж. Однак, при візуальному огляді не виявлено втрати стійкості поперечних перерізів балок (другий нормований критерій) і досліді з ударного навантаження зон А і Д було продовжено з нарощуванням рівня енергії удару. При енергії удару 117,6 кДж також не було виявлено втрат несучої здатності конструкції за другим нормованим критерієм. При ударному навантаженні зон над крайніми циліндрами розвантаження напруження, що відповідають границі текучості, мали місце в зоні Б при енергії удару 58,8 кДж, у зоні Г при енергії удару 49,0 кДж. Втрата стійкості поперечних перерізів циліндрових поперечних балок, які утворені з коробки швелерів, розташованих горизонтально, наступило в зоні Б при енергії удару 88,2 кДж, у зоні Г при 73,5 кДж. Це послужило підставою для припинення ударів по цих зонах.

Загальноприйнята схема завантаження вагонів-самоскидів в умовах експлуатації така, що визначальним за міцністю є удар у шкворньовий перетин, оскільки після вивантаження першого ковша вантажу утворюється підсипка, яка значно знижує напруження, що можуть виникнути від падіння великих шматків вантажу. Тому можна вважати, що міцність вагона-самоскида моделі 33-677 забезпечена при енергії удару 117,6 кДж, тобто при скиданні зосередженого вантажу масою 4 т з висоти 3 м.

Зіставлення величин напружень при ударі в зони А, Б і Г, Д з однаковою енергією удару показало, що у випадку більш жорсткої амортизації (три шари гуми) рівень напружень вище, ніж у зонах, де амортизація — два шари гуми з прошарком пінополістілену.

По залишковим деформаціям підлоги кузова (глибині вм'ятин), обмірюваним при проведенні натурних випробувань, було уточнено коефіцієнт X з (4) і зроблено повторний динамічний розрахунок на міцність вагона-самоскида моделі 33-677.

Максимальні напруження в несучих елементах конструкції, одержані розрахунковим шляхом, порівнювалися з даними натурних дослідів і, як видно з табл. 2, задовільно узгоджуються.

Таблиця 2

Напруження (МПа) в думпкарі моделі 33-677 при шкворньовому ударі

Енергія удару, кДж	Тип дан.	Гума з пінополіетиленом			Три шари гуми		
		поперечна	поздовжня	кронштейн	поперечна	поздовжня	кронштейн
19,6	Р	137	65	-59	157	76	-98
	Е	150	55	-50	200	95	-60
39,2	Р	265	114	-101	304	160	-148
	Е	270	100	-100	370	130	-120
58,8	Р	376	-163	-165	435	196	-200
	Е	380	135	-135	тежуч.	160	-160

У четвертому розділі наведено оцінку НДС різних варіантів конструкції кузова думпкара моделі 34-9019 з метою вибору оптимальної конструкції верхньої рами і настилу помосту та розглядаються результати експериментально-теоретичних досліджень навантаженості вагона-самоскида моделі 33-9035 при падінні зосередженого вантажу на незахищену підлогу кузова.

Верхня рама восьмивісного вагона-самоскида моделі 34-9019 представляє собою балковий ростверк, що складається з двох поздовжніх бічних, двох центральних поздовжніх, 30 проміжних і двох кінцевих поперечних балок. При дослідженні міцності конструкції думпкара розглядалися різні варіанти поперечних і центральних поздовжніх балок. Центральні поздовжні балки представлялися у вигляді:

- а) коробки звичайних швелерів №20 за ГОСТ 8240-72;
- б) коробки вагонних швелерів №20В-2 за ГОСТ 5267.1-78.

Для поперечних балок розглядалися перерізи:

- а) коробка горизонтально розташованих швелерів №24 за ГОСТ 8240-72;
- б) переріз, складений із гнутого швелера висотою 25 см і товщиною стінки 6 мм. розташованого горизонтально, і приварених до нього двох рівнобічних кутків №10 з товщиною полиць 7 мм;
- в) переріз такий ж як (б), тільки балка покрита зверху штабою завтовшки 6 мм;
- г) горизонтально гнутий швелер з товщиною стінки 8 мм і приварені до нього кутки № 12, які мають товщину полиць 8 мм.

Підлога кузова вагона-самоскида складено з броньового листа завтовшки 30 мм і верхнього листа завтовшки 14 мм. Броньовий лист розташовується на гвинтових пружинах з гасителями коливань, що кріпляться на поперечних балках (по чотири пружини на кожній балці на відстані 50 см). Зверху броньовий лист покривається верхнім листом, що кріпиться до бічних поздовжніх балок.

Таким чином передача зусилля від падаючого вантажу на верхню раму здійснюється через настил помосту і пружини.

Як амортизуючі пружини застосовувалися пружини, що використовуються в комплектах ресорного підвищення візків вантажних вагонів. Жорсткість однієї великої пружини дорівнює 412 кН/м, однієї малої пружини - 161 кН/м. При спільному використанні пружин їхня сумарна жорсткість дорівнює 573 кН/м. Величина повного ходу обох пружин дорівнює 9 см. Через те, що пружини були попередньо затиснуті і мали обмеження ходу, їхня робота моделювалася нелінійними в'язями. У розрахунках розглядалося три види нелінійних в'язів:

- а) подвійні пружини з ходом 5 см (обтиснення 4 см);
- б) великі одинарні пружини з ходом 5 см;
- в) одинарні пружини з ходом 6 см (обтиснення 3 см).

Динамічна задача дослідження напружено-деформованого стану думпкара моделі 34-9019 при центральному ударі сталевую кулею по незахищеній підлозі вагона вирішувалася для різних варіантів конструкції верхньої рами. У результаті вирішення цієї задачі одержані параметри, що характеризують ударний процес, поля переміщень і напруження в небезпечних перерізах несучих елементів досліджуваної конструкції.

Графіки залежності від часу ударної сили $F_{уд}$, швидкості падаючого вантажу V , переміщення плити W і залишкові згинні деформації $W_{нз}$ у точці удару, сила в нелінійній в'язі $F_{нз}$ найближчої до місця удару наведені на рис. 1. При падінні сталевій кулі масою 2 т з висоти 1 м ударна сила (рис. 1, а) після початкового різкого зростання коливається, а потім також різко зменшується. Енергія падаючого вантажу поглинається амортизуючими пружинами. Одночасно з цим відбувається прогин верхньої рами від дії на неї сил у пружинах. При ударі сталевую кулею масою 4 т з висоти 3 м величина ударної сили (рис. 1, б) після різкого зростання і деякого зменшення на початковій стадії, коли відбувається стиск пружин, що амортизують, потім знову різко зростає. На цей момент пружини виявляються стиснутими і відбувається жорсткий удар по верхній рамі. Таким чином, поглинання енергії падаючого вантажу амортизуючими пружинами відбувається неповністю, що приводить до збільшення напружень в елементах конструкції верхньої рами.

Найбільш навантаженими виявилися найближчі до точки удару поперечні балки і центральна поздовжня балка. Так при першому варіанті конструкції верхньої рами (моменти інерції поперечних балок $J_z^{nom} = 3066 \text{ см}^4$, центральної поздовжньої балки $J_z^{np} = 3040 \text{ см}^4$) напруження в поперечних балках перевищили 470 МПа, а в поздовжній балці досягли 400 МПа. Зміна жорсткості амортизуючих пружин додаванням малих внутрішніх пружин і збільшення ходу пружин з 5 см до 6 см, що дозволяла конструкція верхньої рами думпкара, не привели до істотного зменшення напружень у балках.

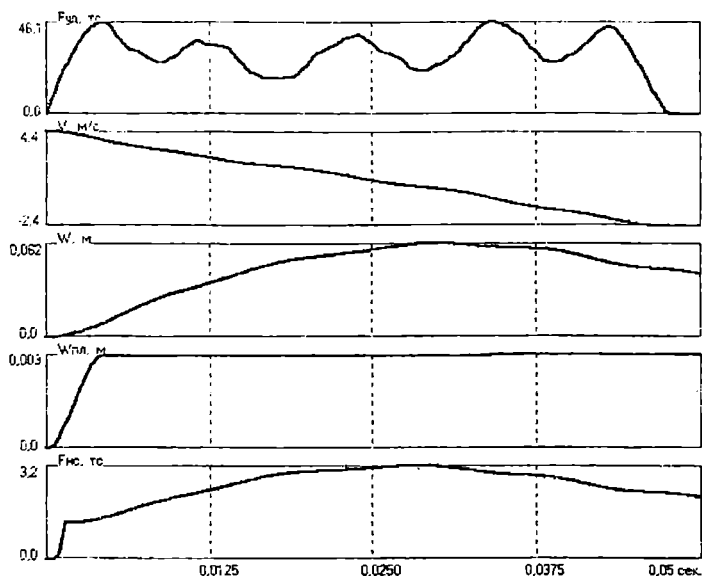


Рис. 1,а. Удар сталевою кулею масою 2 т з висоти 1 м у центр думпкара.

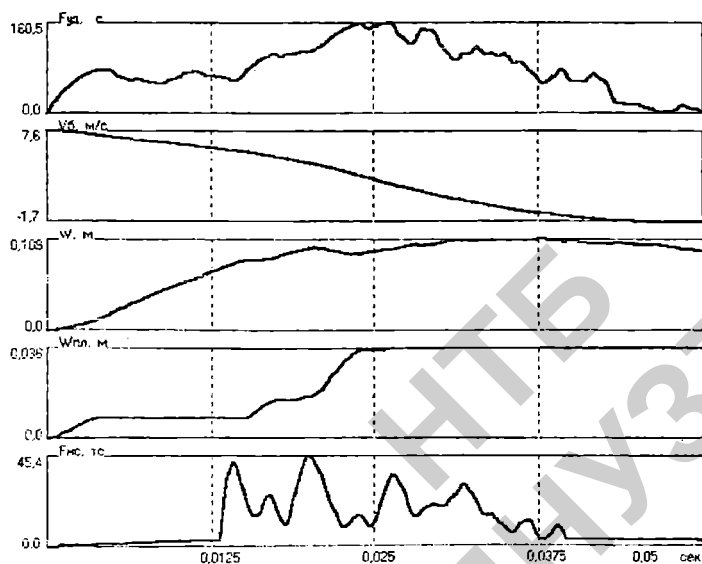


Рис. 1,б. Удар сталевою кулею масою 4 т з висоти 3 м у центр думпкара.

Збільшення моментів інерції поперечних і поздовжніх балок (варіанти 2, 3, 4) призвело до росту загальної жорсткості конструкції верхньої рами, яка не встигала прогнутися до вибору ходу пружин. При цьому збільшилася частина енергії падаючого вантажу, що приходить на верхню раму. Крім того, збільшення моментів інерції перерізів поперечних балок не супроводжувалося значним збільшенням моментів опору цих балок, і зниження напружень досягти не вдалося.

Остаточо було вибрано конструкцію поперечної балки, яка дозволила збільшити момент опору майже пропорційно моменту інерції (варіант 5), при цьому центральна поздовжня балка залишилась такою ж як і у варіанті 1. Максимальні розрахункові напруження в поперечних балках склали 410 МПа, у поздовжніх - 340 МПа, що нижче динамічної границі текучості.

Результати розрахунку були підтверджені даними натурних випробувань вагона-самоскида моделі 34-9019 на удар падаючим зосередженим вантажем.

Новий шестивісний вагон-самоскид моделі 33-9035 вантажопідйомністю 105 т призначено для перевезення гірської маси лінійністю до 4 т/м³. Відповідно до технічних умов для нього допускається скидання брили масою 3 т з висоти 3 м на підсіпку 300 мм. Кузов думпка моделі 33-9035 складається з верхньої рами з настилом помосту, двох лобових стінок і двох поздовжніх бортів. Верхня рама – балковий ростверк, складений із двох бічних поздовжніх балок (швелерів №30), двох центральних поздовжніх балок і 29 поперечних балок, виконаних у вигляді коробки швелерів №20 гнутого профілю. Настил помосту складено з верхнього сталевго листа завтовшки 14 мм, амортизуючого прошарку – шару гуми завтовшки 40 мм і нижнього сталевго листа завтовшки 4 мм.

При динамічному розрахунку думпка моделі 33-9035 пластичні деформації верхнього листа в зоні удару в активній фазі ударного процесу (коли пластичні деформації зростають) моделювалися за допомогою залежності $\beta = \chi F_{yo}^2$. Емпіричний коефіцієнт χ вибирався за результатами стендових випробувань плити завтовшки 10 мм на пружній основі, і був уточнений за даними натурних випробувань вагона-самоскида моделі 33-9035.

Динамічна задача про удар вагона-самоскида сталевго кулею масою 3 т, яка падає з висоти 12.5, 25 і 37.5 см на незахищену підлогу кузова, вирішувалася для випадків шкворньового і центрального ударів. Шкворньовий удар є визначальним з погляду технології завантаження. З метою зіставлення результатів розрахунку з дослідними даними інтерес представляв також центральний удар.

Під час приймальних випробувань вагона-самоскида моделі 33-9035, з метою перевірки методики динамічного розрахунку думпкарів на міцність при ударі падаючим вантажем, було проведено серію дослідів по скиданню бойка на незахищену підлогу вагона. Як вантаж-бойок використовувалася сталева півсфера масою 3 т, у нижній частині якої була встановлена месдоза для виміру

ударної сили. Вантаж-бойок скидався в шкворньову зону і в центр вагона з висоти 12.5, 25 і 37.5 см не менш трьох разів з кожної висоти. На магнетограф записувалися ударна сила і напруження в небезпечних перерізах несучих елементів конструкції думпкара. Після кожного дослідів вимірювалася глибина вм'ятини у верхньому листі настилу помосту кузова. На рис. 2 приведено магнетограму ударної сили, яку було записано при скиданні вантажу-бойка в центр вагона з висоти 25 см на незахищену підлогу, і розрахункову залежність ударної сили, яка визначена за пропонованою методикою.

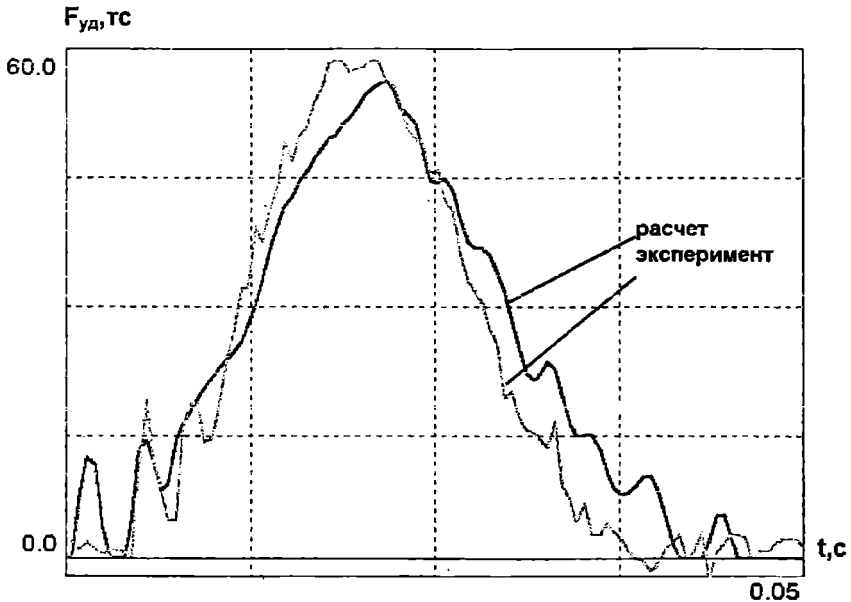


Рис. 2. Магнетограма і розрахункова залежність ударної сили при скиданні бойка масою 3 т з висоти 25 см у центр думпкара

У таблиці 3 наведено максимальні розрахункові та експериментальні значення ударної сили, залишкових деформацій в зоні удару, напружень у небезпечних перерізах несучих елементів конструкції думпкара для шкворньового і центрального ударів при падінні вантажу-бойка на незахищену підлогу з висоти 12.5, 25 і 37.5 см.

Порівняння результатів розрахунку з дослідними даними ще раз підтверджує висновок, що запропоновану методику динамічного розрахунку на удар падаючим вантажем необхідно використовувати на практиці, тому що вона до-

Таблиця 3.

Розрахункові та експериментальні дані при ударному навантаженні зосередженим падаючим вантажем вагона-самоскида моделі 33-9035

Енергія удару, кДж	Тип даних	Параметри ударного процесу і напруження в елементах конструкції						
		$F_{уд}$, кН	$\sigma_{ноп}$, МПа	$\sigma_{пр}$, МПа	$\sigma_{бж}$, МПа	$\sigma_{хр}$, МПа	$\sigma_{кр}$, МПа	$W_{пл}$, мм
Центральний удар								
3,68	P	348	245	135	76	42	-40	6
	E	360	245	105	75	35	-35	7
7,35	P	555	404	219	136	61	-62	15,4
	E	520	380	165	105	50	-65	17
11,03	P	728	567	301	195	71	-86	26
	E	640	текуч.	290	155	60	-85	26
Шкворневий удар								
3,68	P	394	180	70	29		-20	7
	E	400	145	60	25		-20	9
7,35	P	636	292	112	56		-32	18,2
	E	580	235	105	50		-35	20
11,03	P	728	392	153	84		-44	31
	E	680	375	140	70		-55	31

зволяє ще на стадії проектування визначати раціональні параметри конструкції вагонів-самоскидів для заданих умов експлуатації.

ВИСНОВКИ

В дисертації вирішені задачі, спрямовані на поліпшення міцності і техніко-економічних характеристик великовантажних вагонів-самоскидів призначених для важких умов роботи шляхом визначення раціональних параметрів їх елементів конструкції.

Результати досліджень дозволяють зробити такі основні висновки:

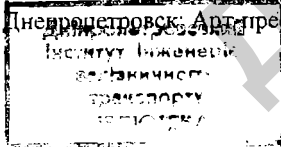
1. Досвід експлуатації, спеціальні експерименти та аналіз різних методів розрахунку на міцність конструкції вагонів-самоскидів в екстремальних умовах експлуатації – при падінні масивних брил на незахищену підлогу кузова під час завантаження показує, що при теоретичних дослідженнях поперечного удару брилою слід враховувати як загальні (коливання конструкції) так і місцеві (пружні та пластичні) деформації.
2. Математична модель оцінки напружено-деформованого стану вагонів-самоскидів при ударному навантаженні падаючим зосередженим вантажем, побудована на основі об'єднаної теорії удару Сірса-Тимошенко в кінцево-

елементній постановці з врахуванням нелінійних жорсткісних характеристик амортизуючого матеріалу і місцевих пластичних деформацій настилу помосту кузова, дозволяє враховувати реальні (у тому числі нелінійні) механічні властивості досліджуваної конструкції.

3. Створене програмне забезпечення, що реалізує розроблену математичну модель, дозволяє проводити теоретичні дослідження динамічних процесів і навантаженості елементів конструкції вагонів-самоскидів при ударі падаючого зосередженого вантажу на незахищену підлогу кузова.
4. Проведене теоретичне дослідження навантаженості вагона-самоскида моделі 33-677 при різних видах амортизації настилу помосту дає можливість рекомендувати для думпкарів подібної конструкції як амортизацію використовувати перфоровану резину.
5. Дані натурних випробувань вагона-самоскида 33-677-001, призначеного для перевезення гірської маси щільністю до 4 т/м^3 , при ударах вантажем-бойком по незахищеній підлозі за методикою, розробленою спільно ДержНДІВагонобудування (Росія) та ГНДЛ динаміки і міцності рухомого складу ДПТУ, підтвердили результати динамічного розрахунку на міцність.
6. На підставі проведених теоретичних досліджень міцності восьмивісного вагона-самоскида моделі 34-9019, призначеного для важких умов роботи в кар'єрах, надано рекомендації ОКБ «Транспортер» щодо вибору раціональних параметрів конструкції кузова.
7. Зіставлення результатів теоретичних досліджень з даними натурних випробувань шестивісного вагона-самоскида моделі 33-9035 на удар падаючим вантажем підтверджує доцільність застосування динамічного розрахунку на міцність при проектуванні нових вагонів-самоскидів і модернізації існуючих з метою визначення їх несучої здатності для заданих умов експлуатації.

СПИСОК РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ В ФАХОВИХ ВИДАННЯХ

1. Барбас И.Г., Дашенко В.Н., Кострица С.А., Султан А.В. Оценка прочности восьмиосного вагона-самосвала при ударе падающей глыбой // Механика транспорта: вес поезда, скорость, безопасность движения. Межвуз. сб. науч. трудов. - Днепропетровск: ДИИТ. 1993. - С. 64-68.
2. Султан А.В. Моделирование динамических процессов в элементах конструкции вагонов-самосвалов при ударном нагружении с учетом нелинейностей настила пола // Транспорт. Збірник наукових праць. Випуск 2. Дніпропетровськ: Наука і освіта. 1999. - С. 104-114.
3. Султан А.В. Экспериментально-теоретическое исследование нагруженности вагона-самосвала модели 33-9035 // Транспорт. Сборник научных трудов ДИИТа. Вып. 6. - Днепропетровск: Арт-пресс. 2000. - С. 126-129.



60899

ДОДАТКОВО РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ВИСВІТЛЕНІ В РОБОТАХ

4. Даценко В.Н., Кострица С.А., Султан А.В., Музалев Г.Г., Панасенко В.И. Ударное нагружение вагона-самосвала сосредоточенным грузом // Тез. докл. Всесоюзной конференции «Проблемы механики железнодорожного транспорта». – Днепропетровск: ДИИТ. 1992. – С. 20.
5. Барбас И.Г. Даценко В.Н., Конярев Ю.Н., Султан А.В., Хоружий С.А. Применение пружин для амортизации пола восьмиосного вагона-самосвала // Тез. докл. VIII Международной конференции. «Проблемы механики железнодорожного транспорта». – Днепропетровск: ДИИТ. 1992. – С. 12-16.
6. Барбас И.Г., Даценко В.Н., Кострица С.А., Султан А.В. Расчет на прочность верхней рамы вагона-самосвала типа ВС-66 от удара падающим грузом. Депонирована в ЦНИИ ТЭН МПС, № 5558, 12.01.93 г.
7. Даценко В.Н., Кострица С.А., Султан А.В., Панасенко В.И. Решение задачи об ударном нагружении вагона-самосвала в нелинейной постановке // Механика транспорта: вес поезда, скорость, безопасность движения. Межвуз. сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ДИИТ. 1993. – С. 68-72.
8. Барбас И.Г., Даценко В.Н., Кострица С.А., Султан А.В. Прочности конструкции четырехосного вагона-самосвала постройки Криворожского завода подвижного состава при ударном нагружении // Тез. докл. IX Международной конференции «Проблемы механики железнодорожного транспорта». Днепропетровск: ДИИТ. 1996. – С. 4.
9. Барбас И.Г., Кострица С.А., Островерхов Н.П., Султан А.В. Экспериментальная оценка прочности конструкции нового шестиосного вагона-самосвала при ударе падающим грузом (глыбой) // Тез. докл. X Международной конференции «Проблемы механики железнодорожного транспорта». Днепропетровск: ДИИТ. 2000. – С. 155.
10. Султан А.В. Теоретическое исследование прочности вагона-самосвала модели 33-9035 при ударе падающим грузом с учетом местных пластических деформаций и нелинейных свойств амортизирующей прослойки // Тез. докл. X Международной конференции «Проблемы механики железнодорожного транспорта». – Днепропетровск: ДИИТ. 2000. – С. 199.

АНОТАЦІЯ

Султан О.В. ВПЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ ВАГОНІВ-САМОСКІДІВ ПРИ УДАРІ ПАДАЮЧИМ ВАНТАЖЕМ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЦНОСТІ. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – Рухомий склад залізниць і тяга поїздів. Дніпропет-

ровський державний технічний університет залізничного транспорту, Дніпропетровськ, 2001.

Математична модель динамічного розрахунку на міцність думпкарів при поперечному ударі масивними тілами розроблено на базі теорії удару Сірса-Тімошенко. Як падаючий вантаж розглядається пружне масивне тіло зі сферичною нижньою поверхнею. Диференціальні рівняння руху досліджуваної конструкції при ударі формувалися за процедурою МКЕ. Інтегрування диференціальних рівнянь руху проводилося за методом Н'юмарка. Амортизуючий прошарок і вільне опирання верхньої рами на нижню (однобічні в'язі), представлялися нелінійними в'язями. Рівняння зв'язку для визначення ударної сили складалося на підставі теорії удару Герца з урахуванням місцевих пластичних деформацій. При формуванні рівнянь зв'язку для обчислювання сил взаємодії використовувалися діаграми стискання амортизуючих матеріалів (пристроїв). У результаті вирішення динамічної задачі про удар падаючим зосередженим вантажем обчислювалися значення параметрів ударного процесу, поля переміщень досліджуваної конструкції і напруження в елементах конструкції вагона-самоскида.

Методика динамічного розрахунку реалізована в програмний комплекс, що застосовувався при проектуванні великовантажних вагонів-самоскидів моделей 33-677 і 34-9019. За результатами розрахунків було дано рекомендації заводо-виробникам щодо вибору конструкції верхньої рами і настилу помосту.

Ключові слова: вагон-самоскид, удар, міцність, амортизуючий прошарок, напружено-деформований стан, нелінійна в'язь, сила взаємодії.

АННОТАЦІЯ

Султан А.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ ВАГОНОВ-САМОСВАЛОВ ПРИ УДАРЕ ПАДАЮЩИМ ГРУЗОМ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог и тяга поездов. Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта, Днепропетровск, 2001.

Вагоны-самосвалы (думпкары) – основной вид транспорта на предприятиях горнодобывающей промышленности для перевозки вскрышных скальных пород и полезных ископаемых. Наиболее опасным режимом работы вагонов-самосвалов является погрузка из-за большой вероятности падения на незащищенный пол кузова глыб большой массы. Наиболее эффективной защитой от разрушающего воздействия падающего сосредоточенного груза является применение в конструкции настила пола верхней рамы думпкаров броневое лист и амортизирующей прослойки. Материалы и устройства, которые могут быть использованы в качестве амортизации, как правило, имеют нелинейные жесткостные характеристики, что значительно усложняет решение задачи об удар-

ном нагружении падающим грузом. Кроме того, как показывает опыт эксплуатации и натурные испытания по загрузке думпкаров, имеют место значительные пластические деформации пола кузова вагонов-самосвалов. Существующие математические модели (методики) не позволяют с достаточной степенью точности учесть нелинейные свойства настила пола. Поэтому разработка математической модели исследования прочности вагонов-самосвалов при ударе падающим грузом, учитывающей нелинейные свойства амортизации и пластические деформации пола в зоне удара, является актуальной научно-технической проблемой, так как ее практическое применение позволяет еще на стадии проектирования выбирать оптимальные параметры несущих элементов конструкции вагонов-самосвалов.

Математическая модель динамического расчета на прочность думпкаров при поперечном ударе массивным телом разработана на базе теории удара Сирса-Тимошенко. В качестве падающего груза рассматривается упругое массивное тело со сферической нижней поверхностью. Дифференциальные уравнения движения исследуемой конструкции при ударе формировались по процедуре МКЭ. При моделировании конструкции думпкара в качестве конечных элементов применялись изгибаемые пластины и стержни. Интегрирование дифференциальных уравнений движения проводилось по методу Ньюмарка. Амортизирующая прослойка и свободное опирание верхней рамы на нижнюю (односторонние связи), представлялись нелинейными связями. Ударная сила и силы взаимодействия определялись из уравнений связи на каждом шаге интегрирования системы дифференциальных уравнений движения. Уравнение связи для определения ударной силы составлялось на основании теории удара Герца с учетом местных пластических деформаций. При формировании уравнений связи для вычисления силы взаимодействия использовались диаграммы сжатия амортизирующих материалов (устройств). Если диаграмма сжатия заранее неизвестна, ее можно получить экспериментальным путем. После лианеризации диаграммы сжатия уравнения связи для определения сил взаимодействия сводились к решению системы линейных алгебраических уравнений размерности n (n – количество нелинейных связей). В результате решения динамической задачи об ударе падающим сосредоточенным грузом вычислялись параметры ударного процесса, поля перемещений исследуемой конструкции и напряжения в элементах конструкции вагона-самосвала.

Методика динамического расчета реализована в программный комплекс, который применялся при проектировании большегрузных вагонов-самосвалов моделей 33-677 и 34-9019. По результатам расчетов были даны рекомендации заводам-изготовителям по выбору конструкции верхней рамы и настила пола. Данные натурных испытаний по ударному нагружению большегрузных думпкаров моделей 33-677 и 34-2319 грузом-бойком удовлетворительно согласуются с результатами расчетов.

При проведении приемочных испытаний вагона-самосвала модели 33-9035, предназначенного для перевозки горной массы плотностью до 4 т/м^3 была проведена серия опытов по сбросу бойка массой 3 т на незащищенный пол вагона. Сопоставление опытных данных с результатами аналогичного динами-

ческого расчета еще раз подтвердило целесообразность применения методики динамического расчета при проектировании новых большегрузных вагонов-самосвалов, предназначенных для работы на ГОКах, с целью выбора оптимальных параметров конструкции думпкаров для заданных условий эксплуатации.

Ключевые слова: вагон-самосвал, удар, прочность, напряженно-деформированное состояние амортизирующая прослойка, нелинейная связь, сила взаимодействия.

SUMMARY

Sultan A. DETERMINATION OF DUMPCAR LOADING UNDER IMPACT OF FALLING CONSIGNMENT FOR THE PURPOSE OF STRENGTH MAINTENANCE. - Manuscript.

Thesis for candidate's degree by speciality 05.22.07 - railway rolling stock and train traction. Dnipropetrovsk State Technical University of Railway Transport, Dnepropetrovsk, 2001.

On basis of the theory of impact Sirsa-Timoshenko the mathematical model of a dynamic strength calculation dumpcars under transversal impact by massive bodies has been developed. The incident consignment is considered as the elastic massive body with a spherical lower surface. By the procedure of a finite element method the differential equations of researched construction movement by the impact have been formed. The integration of the differential equations of movement was carried out by the method Newmark. The damping interlayer and the free leaner of the upper frame on lower (the one-side connections) were represented by nonlinear connections. By the Hertz impact theory with allowance for of local plastic deformations in a zone of impact the equation of connection for determination of a impact force have been made. Setting the connection equations for the forces of interaction calculation have been used by diagrams of compression the damping of materials (devices). As the of the dynamic problem solution impact the incident concentrated consignment parameters of shock process, fields of transference of a researched construction and stresses in elements of a construction of a dumpcar have been calculated.

The technique of dynamic strength calculation is realized in a program complex, which was applied on designing of supsize dumpcars of models 33-677 and 34-9019. In results, of calculation the recommendations to factory-manufacturers about the choice of construction of the upper frame and floor have been given.

Key words: dumpcar, impact, strength-deformed condition, damping interlayer, nonlinear connections, force of interaction.

**ВІЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ ВАГОНІВ-САМОСКИДІВ ПРИ
УДАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ПАДАЮЧИМ ВАНТАЖЕМ З МЕТОЮ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ МІЦНОСТІ**

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидага технічних наук

Спеціальність 05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Підписано до друку 21.05.2001р. Формат 60х84 1/16. Папір для множних апаратів. Ум. друк. арк. 1,0. Обл. – вид арк. 1.1. Тираж 100 прим. Замовлення №273 .Тираж 100.

Безкоштовно.

Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту Адреса університету та дільниці оперативної поліграфії ДПТУ: 49010, м. Дніпропетровськ, 10, вул. Акад. Лазаряна, 2.