

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА имени М.И. КАЛИНИНА

УДК 624.072.33.001.24

На правах рукописи

ПОПКОВИЧ

Александр Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ КАЧЕСТВ ДУМПКАРОВ ПРИ
НАГРУЖЕНИИ ПАДАЮЩИМ СОСРЕДОТОЧЕННЫМ ГРУЗОМ

05.22.07 - Подвижной состав и тяга поездов

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Днепропетровск - 1982

Работа выполнена в Институте технической механики Академии наук Украинской ССР и в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Научные руководители - Заслуженный деятель науки УССР, академик АН УССР, доктор технических наук, профессор

В.А. Лазарян; кандидат технических наук, доцент И.Г. Барбас.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор Н.А. Панькин; кандидат технических наук, доцент Г.В. Рейдмейстер.

Ведущее предприятие - Всесоюзный научно-исследовательский институт вагоностроения.

Защита состоится "24" июня 1982 г. в ч. на заседании специализированного совета КИИ4.07.01 в Днепропетровском ордена Трудового Красного Знамени институте инженеров железнодорожного транспорта им. М.И. Калинина (г. Днепропетровск, 320629, ГСП, ул. акад. Лазаряна, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан 1982 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
доктор физико-математических
наук профессор

А.И. Егоров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В решениях XXVI съезда КПСС отмечено:

"Опережающими темпами развивать добычу угля наиболее эффективным открытым способом на основе широкого внедрения прогрессивной технологии и горнотранспортного оборудования большой единичной мощности..., увеличить выпуск специализированных грузовых вагонов."

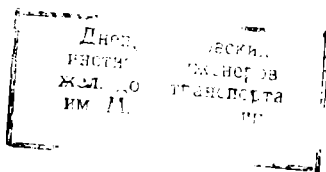
Анализ повреждаемости думпкаров на горнообогатительных комбинатах показывает, что основная часть разрушений происходит в процессе погрузки, когда элементы конструкции вагона систематически подвергаются ударному воздействию падающих глыб большого веса. Очевидно, этот режим является наиболее тяжелым в работе вагона-самосвала.

На предпроектной стадии работ по созданию новых вагонов, а также по улучшению конструкций существующих необходимо провести теоретические исследования, основными задачами которых являются:

а) выявление наиболее тяжелого режима ударного нагружения, при котором напряжения в основных несущих элементах конструкций будут максимальными;

б) оценка влияния отдельных факторов, характеризующих условия ударного нагружения, на динамическую прочность конструкции вагона (местоположение ударного импульса, вес и высота падения груза, наличие защитного слоя);

в) оценка динамической прочности элементов конструкции верхней и нижней рам думпкара при ударном нагружении одиночными грузами.



6686a

14/13
ПОДАШЕНО

Целью работы является разработка методики и проведение исследований динамических напряжений, возникающих в элементах конструкции думпкара при падении сосредоточенного груза непосредственно на полувагона или на подсыпку защитного слоя.

Методика исследований. В работе использован метод математического моделирования с применением цифровых вычислительных машин. Определение ударной силы, возникающей в зоне контакта соударяемых тел, проводилось в рамках теории С.П. Тимошенко с применением способа разложения по формам колебаний системы без трения. При исследовании вынужденных колебаний думпкаров использован метод прямых.

Научная новизна. Разработан приближенный способ определения динамических напряжений, возникающих в элементах конструкции думпкара при падении сосредоточенного груза непосредственно на пол вагона; в отличие от других предложенный способ позволяет учитывать как местные деформации в зоне контакта, так и колебания ударяемой конструкции;

- исследовано влияние модуля упругости падающего груза на величину ударного импульса;
- исследовано влияние внутреннего неупругого сопротивления в конструкции думпкара на величину ударного импульса;
- предложен экспериментально-теоретический способ исследования ударного нагружения думпкаров при подсыпке защитного слоя.

Практическая ценность и внедрение результатов работы. Разработанные методики позволяют с достаточной точностью определять динамические напряжения, возникающие в элементах конструкций думпкаров от ударов падающими глыбами.

На основании проведенных исследований по ударному нагру-

жению перспективной конструкции восьмиосного думпкара рекомендован и принят к проектированию один из вариантов верхней рамы.

Результаты работы внедрены на Калининградском вагоностроительном заводе и используются при создании перспективных конструкций вагонов-самосвалов и совершенствовании существующих.

Алгоритмы и программы для ЭВМ используются в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта и в Институте технической механики АН УССР при исследованиях ударного нагружения думпкаров.

Апробация. Основные результаты работы доложены на Всесоюзной конференции "Проблемы механики железнодорожного транспорта" (Днепропетровск, 1980), юбилейной научно-технической конференции специалистов железнодорожного транспорта, посвященной 50-летию ДИИТ (Днепропетровск, 1980), научно-технической конференции молодых ученых и специалистов железнодорожного транспорта, посвященной 63-летию ВЛКСМ (Днепропетровск, 1981), научном семинаре "Общая механика" (Днепропетровск, 1982).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работ.

Структура работы обусловлена необходимостью постановки задачи, описания математических моделей, способов решения, изложения результатов с сопоставлением теоретических и экспериментальных данных.

Объем работы. Диссертация состоит из введения и постановки задачи (первая глава), четырех глав, основного содержания, заключения и приложений. Она содержит 110 страниц машинописного текста, 26 рисунков, 16 таблиц, список литературы из 129

наименований и 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дан краткий обзор состояния исследований процессов ударного взаимодействия упругих и упруго-пластических тел, существующих способов расчета думпкаров на удар падающей глыбой, а также обоснование теории удара, принятой в настоящей работе.

Основы теоретических и экспериментальных методов исследований в области соударений упругих и неупругих тел заложены в работах отечественных и зарубежных ученых: А.Н. Динника, С.П. Тимошенко, Н.Н. Давиденкова, А.Ю. Ишлинского, Л.А. Галина, А.П. Филиппова, Я.Г. Пановко, И.А. Кильчевского, В.Д. Бидермана, В.В. Багреева, Е.Г. Голоскокова, Г.С. Батуева, В. Гольдсмита, Р. Айра, У. Хопмана, Ч. Морроу.

В разработку методов расчета элементов инженерных конструкций на кратковременные воздействия большой вклад внесли: И.М. Рабинович, А.П. Сеницын, И.И. Гольденблат, В.Н. Рабочнов, Х.А. Рахматулин, Е.В. Александров, В.Б. Соколинский и др.

Исследования по разработке теоретических основ, определению эффективности и рациональных областей использования карьерного подвижного состава нашли свое отражение в трудах А.О. Спиваковского, М.В. Васильева, Н.А. Панькина, М.Г. Новожилова, М.Г. Потапова, А.И. Логина, В.С. Плоткина и др.

Теоретические и экспериментальные исследования ударного нагружения думпкаров, а также совершенствование методов расчета перспективных конструкций вагонов-самосвалов проводятся во ВНИИ вагоностроения, МИИТе, ИГД им. А.А. Скочинского, Прои-

трансНИИпроекте, ДИИТе, ИТМ АН УССР, БИТМе, ЛИИЖТе, Калининградском вагоностроительном заводе и др.

Существующие способы расчета думпкоров на удар падающей глыбой сводятся, в основном, к статическому расчету отдельных элементов конструкции вагона с использованием динамического коэффициента, определяемого по формуле Кокса. Причем, ни один из этих способов не дает удовлетворительного совпадения расчетных и экспериментальных значений динамических напряжений, возникающих в элементах верхней рамы думпкара. Очевидно, это можно объяснить тем, что не принимается во внимание местные деформации в зоне контакта (удар абсолютно жесткий), а также несовершенством выбранных упрощенных расчетных схем (рассматриваются отдельные элементы конструкции) и методов расчета (формула Кокса применима, если массы соударяемых тел примерно одинаковы).

В нашем случае масса падающего груза много меньше массы ударяемой конструкции. Из экспериментов видно, что наибольшие напряжения возникают в месте удара и по мере удаления от зоны удара напряжения резко снижаются. Это говорит о появлении местных деформаций в зоне контакта. В то же время осциллограммы, записанные во время опытов, показывают, что при ударе в конструкции думпкара возникают колебания, затухающие через 3-4 периода.

Поэтому для исследования ударного нагружения думпкоров в настоящей работе принята теория поперечного упругого удара С.П. Тимошенко, где учитываются как местные, так и общие деформации (колебания конструкции).

Форма падающего груза принята шарообразной.

Поскольку процессы ударного взаимодействия являются быст-

ро протекающими во времени, инерционные и упруговязкие свойства железнодорожного пути не учитываются, т.е. путь принят абсолютно жестким.

Во второй главе описан математический аппарат исследования динамических напряжений, возникающих в элементах конструкции думпкара при ударе падающим грузом непосредственно по полу вагона.

При определении ударной силы $P(t)$, возникающей в зоне контакта, использовалось функциональное уравнение теории удара С.П. Тимошенко

$$v_0 t + \frac{gt^2}{2} - \frac{1}{M} \int_0^t dt_1 \int_0^{t_1} P(t_2) dt_2 = \bar{\kappa} P^{2/3}(t) + q_1(t). \quad (1)$$

Здесь v_0 - скорость падающего тела в начальный момент контакта; M - масса падающего тела; $q_1(t)$ - прогиб ударяемой конструкции в точке удара; $\bar{\kappa}$ - коэффициент, зависящий от формы и материала соударяемых тел.

Для случая вдавливания шара радиусом R в упругое полупространство коэффициент $\bar{\kappa}$ определяется следующим образом

$$\bar{\kappa} = \left(\frac{9}{256R} \right)^{1/3} \left[\frac{4(1-\mu_1^2)}{E_1} + \frac{4(1-\mu_2^2)}{E_2} \right]^{2/3} \quad (2)$$

где E_1, μ_1, E_2, μ_2 - модуль упругости и коэффициент Пуассона для шара и упругого полупространства соответственно.

В нашем случае ударяемая конструкция (думпкар) изготовлена из неодинаковых материалов. Например, настил пола состоит из стальных листов с амортизационной прокладкой между ними (деревянные брусья, пневмобаллоны и т.п.). Поэтому E_2 будем

определять как эквивалентный модуль упругости по скорости распространения упругой волны $a_{\text{ср}}$ в направлении удара. Тогда $E_2 = a_{\text{ср}}^2 \rho_{\text{ср}}$, где

$$a_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n t_i}; \quad \rho_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

Здесь n - количество элементов конструкции в направлении удара; ρ_i - плотность i -го элемента; h_i - размер i -го элемента в направлении удара; t_i - время прохождения упругой волны по i -му элементу, определяемое следующим образом

$$t = \frac{h_i}{a_i} \quad \text{где} \quad a_i = \sqrt{\frac{E_i}{\rho_i}}$$

E_i - модуль упругости i -го элемента конструкции.

Для численного интегрирования уравнения (I) необходимо знать зависимость прогиба $q(t)$ ударяемой конструкции от ударной силы. При определении прогиба $q(t)$ конкретные конструкции думпкаров моделировались дискретными системами. Использовались два вида расчетных схем: вертикально расположенная цепочка упруго связанных сосредоточенных масс и пространственная стержневая система с сосредоточенными в узлах массами.

Для построения первой расчетной схемы применялся метод приведения. Ею удобно пользоваться при рассмотрении центрального удара по думпкару.

Вторая расчетная схема учитывает случаи падения глыбы в любое место кузова.

С использованием разложения решения уравнений Лагранжа

II рода, описывающих движение принятых расчетных схем, по главным формам колебаний получено выражение для прогиба ударяемой системы в точке удара

$$q_i(t) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_i^2}{\nu_i^2} \int_0^t p(t_1) \sin \nu_i(t-t_1) dt_1.$$

Здесь α_i есть первые компоненты собственных нормированных векторов системы, соответствующих i -ой частоте ν_i свободных колебаний; N - число степеней свободы рассматриваемой системы.

Численное решение уравнения (I) проводилось с помощью алгоритма, предложенного А.П. Филиповым. При этом ударная сила на каждом интервале времени $(k-1)\tau < t < k\tau$ аппроксимируется линейной зависимостью

$$p(t) = p_k - (p_k - p_{k-1})\left(\kappa - \frac{t}{\tau}\right), \quad p(0) = 0. \quad (3)$$

После подстановки выражения (3) в левую часть уравнения (I) получим для перемещения падающего тела $y(k\tau)$ в момент времени $t = k\tau$ следующую формулу

$$y(k\tau) = g_0 k\tau + \frac{g(k\tau)^2}{2} + \frac{\tau^2}{H} \left\{ \frac{p_1 - p_0}{\delta} [(\kappa-1)^3 - \kappa^3] + \right. \\ \left. + \frac{p_2 - p_1}{\delta} [(\kappa-2)^3 - (\kappa-1)^3] + \dots + \frac{p_k - p_{k-1}}{\delta} (-1)^3 \right\}$$

Аналогично для прогиба ударяемой системы получаем

$$q_i(k\tau) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_i^2}{\nu_i^2} \left\{ p_k + \frac{1}{\nu_i \tau} [(p_i - p_0) S_{\kappa-1, \kappa}^i + \right.$$

$$+ (P_2 - P_1) S_{\pi-2, \pi-1}^i + \dots + (P_{\pi} - P_{\pi-1}) S_{2,1}^i \} \quad (4)$$

Здесь обозначено

$$S_{\pi-j, \pi-(j-1)}^i = \sin \nu_i \tau (\pi-j) - \sin \nu_i \tau [\pi-(j-1)], \quad (j = \overline{1, \pi}, i = \overline{1, n}).$$

Тогда местное смятие равно

$$f(\kappa \tau) = y(\kappa \tau) - q_j(\kappa \tau),$$

и ударная сила в каждый момент времени определяется по формуле Герца

$$P(\kappa \tau) = \left(\frac{f(\kappa \tau)}{\kappa} \right)^{1/2}$$

В работе сделана попытка оценить, как влияет внутреннее неупругое сопротивление в конструкции на величину ударного импульса. При этом значительно изменяется выражение (4) прогиба $q_j(\kappa \tau)$, которое ввиду сложности не приводится.

Для исследования динамических напряжений в элементах конструкции думпкара принималась в общем случае пространственная система сосредоточенных масс, соединенных упруговязкими осязми. Под действием ударного импульса в такой системе возникают вертикальные колебания, исследование которых удобно проводить с помощью метода прямых. В процессе численного интегрирования дифференциальных уравнений метода прямых определяем внутренние усилия в элементах конструкции думпкара. Пространственные системы имеют большое число степеней свободы, что существенно влияет на время счета.

Поэтому в работе предложен более простой способ. На первом этапе думпкар моделируется плоской расчетной схемой из

5-9 масс, соединенных стержнями с суммарной изгибной жесткостью продольных элементов думпкара. С помощью метода прямых определяется максимальный динамический прогиб.

На втором этапе думпкара заменяется пространственной подребной статически неопределимой системой, нагруженной единичной силой в точке удара. С помощью метода конечных элементов, реализованного по программе, составленной на кафедре строительной механики ДИИТ, определяется статическое напряженное состояние и прогибы такой системы.

Максимальные динамические напряжения вблизи места удара вычисляются по известным статическим напряжениям пропорционально динамическому прогибу.

В третьей главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований ударного нагружения физической модели думпкара и натурального вагона-самосвала 2BC-105.

На кафедре строительной механики ДИИТа при участии лаборатории промышленного транспорта ВНИИвагоностроения была изготовлена физическая модель в 1/5 натуральной величины вагона-самосвала типа BC-165. Модель была изготовлена геометрически подобной натурному вагону, из того же материала и содержала те же элементы конструкции.

Ударное нагружение проводилось стальной полусферой массой 24 кг. В процессе испытаний регистрировались ударная сила и напряжения в опасных сечениях элементов верхней рамы.

Теоретическое исследование ударного нагружения физической модели думпкара проводилось с использованием различных расчетных схем. Максимальные значения ударной силы, полученные по разным расчетным схемам, удовлетворительно согласуются между собой и с экспериментальными данными. Форма ударного импуль-

са в значительной степени зависит от выбора расчетной схемы, однако, по площади импульсы, примерно, одинаковы. Это обстоятельство позволяет использовать любую из принятых расчетных схем при определении ударной силы.

На основе анализа результатов было установлено, что внутреннее неупругое сопротивление в конструкции оказывает незначительное влияние только в конце действия ударной силы. Очевидно, это объясняется тем, что максимальное значение ударной силы, в основном, зависит от перемещения падающего груза (т.е. начальной скорости v_0 и массы груза M) и, в гораздо меньшей степени, от прогиба ударяемой системы в зоне удара, а значит, и от ее упругих и диссипативных свойств. Следовательно, при определении ударной силы рассеивание энергии в ударяемой системе можно не учитывать.

Максимальные динамические напряжения в элементах верхней рамы были получены с использованием пространственной и плоской расчетных схем. Анализ результатов показал, что теоретические и экспериментальные напряжения неплохо согласуются между собой (максимальное отличие составило 12%).

Отработка методики исследования ударного нагружения думпкаров проводилась также на натурном вагоне 2ВС-105.

Были получены зависимости ударной силы от времени и динамические напряжения в элементах конструкции думпкара при падении стального шара весом 2,8 Мг с различной высоты непосредственно на пол вагона. Исследовано влияние амортизационной прослойки в полу (слоя деревянных брусьев) на уровень динамических напряжений в элементах верхней и нижней рам. Показано, что амортизационная прослойка в полу снижает уровень динамических напряжений примерно на 14-17% (в зависимости от высоты

падения груза).

Анализ результатов показывает удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных. Максимальное превышение расчетных напряжений над опытными составило: в элементах верхней рамы - 8%, в хребтовой балке - 10%.

В четвертой главе предложен экспериментально-теоретический способ исследования ударного нагружения думпкаров при подсыпке защитного слоя.

Согласно техническим условиям эксплуатации на пол думпка перед загрузкой глыбами должен быть насыпан защитный слой (песок, мелкие фракции породы и т.п.). Для оценки эффективности защитного слоя необходимо провести теоретическое исследование динамических напряжений, возникающих в элементах кузова думпкара при падении сосредоточенного груза на подсыпку.

Для исследования процессов ударного взаимодействия шара с думпкаром через подсыпку использовалось уравнение (I), в котором вместо зависимости Герца для местного смятия подставлена зависимость глубины проникания шара в подсыпку от ударной силы.

Теоретическое и экспериментальное исследования проводились на физической модели думпкара. В качестве подсыпки использовался песок. Поскольку скорости соударения намного меньше скорости звука в песке ($\sim 100 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$), можно ожидать, что статическая силовая характеристика деформируемого материала (песка) не будет существенно отличаться от динамической, и, следовательно, ее можно использовать для решения контактной задачи при ударе.

Статические силовые характеристики песка были получены в лаборатории ДИИТ на прессе ИПС-200. Статическое нагружение

песка проводилось стальной полусферой массой 24 кг. Полученные характеристики после аппроксимации подставлялись в уравнение (I) в качестве зависимостей глубины проникновения шара в подсыпку от ударной силы.

В результате проведенного исследования были определены ударная сила и динамические напряжения в элементах верхней рамы физической модели при падении стальной полусферы весом 24 кг с разной высоты на подсыпку различной толщины. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений напряжений показало достаточно удовлетворительное совпадение.

Подсыпка существенно снижает уровень динамических напряжений. Для физической модели напряжения в раме при подсыпке защитного слоя песка толщиной 0,05 и снизились в 4,4 раза. Такое резкое уменьшение напряжений за счет подсыпки объясняется тем, что физическая модель думпкара представляет собой относительно жесткую конструкцию (частота первого тона изгибных колебаний около 40 Гц).

Анализ результатов также показал, что при некоторой толщине подсыпки наступает насыщение и дальнейшее увеличение толщины подсыпки не сказывается на динамических напряжениях.

Предложенный способ можно применять к расчету натурных вагонов при наличии соответствующих статических силовых характеристик.

В пятой главе разработанная методика применена к исследованию динамических напряжений, возникающих в элементах перспективной конструкции восьмиосного думпкара грузоподъемностью 145 Мг при ударном нагружении. Было исследовано шесть вариантов конструкции верхней рамы. Поскольку при создании новой конструкции особое внимание уделялось усилению консольной

части кузова, при проведении теоретических исследований рассматривался удар падающим грузом по консоли. При этом рассматривался удар глыбой кварцита шарообразной формы различного веса.

После постройки опытного образца вагона Калининградским вагоностроительным заводом будут проведены прочностные и эксплуатационные испытания, в том числе на удар падающим грузом. При этом в качестве "бойка" будет использоваться чугуная плашка массой 1,7 Мг с радиусом кривизны ударяющей поверхности $R = 2$ м. Представляет интерес оценка динамических напряжений, которые могут возникнуть в процессе испытаний. Поэтому по просьбе Калининградского вагоностроительного завода было проведено также теоретическое исследование думпкара на удар чугуной плашкой.

Из анализа полученных зависимостей ударной силы от времени можно сделать следующие выводы.

Продолжительность соударения в значительной степени зависит от модуля упругости падающего груза. Так, при увеличении модуля упругости ударяющего тела в 3,7 раза (чугун и кварцит), длительность ударного импульса уменьшается в 1,8 раза. Однако, при этом максимальное значение ударной силы увеличивается примерно в 1,7 раз. форма ударного импульса практически не зависит от места падения глыбы (удар по консоли и центральный удар).

По известной ударной силе вычислялись динамические напряжения в элементах верхней рамы думпкара. Анализ результатов показал, что наибольшие напряжения возникают в поперечной балке верхней рамы, расположенной вблизи места удара. Напряжения, возникающие от удара чугуным телом и глыбой кварцита,

одного порядка, что объясняется примерно одинаковыми ударными импульсами.

По результатам статического и динамического расчетов к проектированию и постройке опытного образца вагона был принят один из вариантов верхней рамы.

Для принятого варианта верхней рамы была исследована область допустимых значений веса сбрасываемой глыбы кварцита и высоты падения. Из анализа результатов вытекает следующее: при загрузке думпкара без предварительной подсыпки мелких фракций породы можно сбрасывать глыбы кварцита массой 2 Мг - с высоты до 2,2 м; массой 3 Мг - с высоты до 1,7 м; массой 4 Мг - с высоты до 1,5 м.

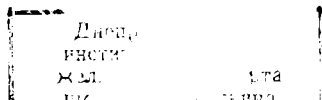
В приложении приведены технические характеристики вагона-самосвала 2ВС-105 и перспективной конструкции восьмиосного думпкара грузоподъемностью 145 Мг с укороченными консолями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Основные результаты, полученные в диссертационной работе:

1. Разработан приближенный способ динамического расчета конструкций думпкаров при ударном нагружении сосредоточенным грузом. Показано, что при исследовании процессов ударного взаимодействия падающего груза с думпкаром необходим учет местных деформаций в зоне контакта и колебаний конструкции. Показано, что с помощью учета конечной скорости распространения упругой волны в направлении удара уравнение Тимошенко С.П. можно применять для многослойных конструкций.

2. Исследовано влияние внутреннего неупругого сопротивления в конструкции на величину ударного импульса. Показано, что



66869

внутреннее сопротивление незначительно влияет на величину ударной силы.

3. Исследовано влияние амортизационной прокладки в настеле пола на величину максимальных динамических напряжений в конструкции думпкара.

4. Предложен экспериментально-теоретический способ исследования ударного нагружения думпкаров при подсыпке защитного слоя.

5. Результаты теоретических расчетов сопоставлены с экспериментальными данными. Удовлетворительное совпадение расчетных и опытных значений подтверждает приемлемость предлагаемых способов к динамическому расчету думпкаров на удар.

6. Проведено теоретическое исследование ударного нагружения перспективной конструкции восьмисосного думпкара грузоподъемностью 145 Мг. По результатам исследования рекомендован и принят к разработке один из вариантов конструкции верхней рамы. Даны рекомендации по допускаемым значениям веса обрасываемой глибы и высоты ее падений.

7. Результаты работы внедрены на Калининградском вагоностроительном заводе. Фактический экономический эффект от внедрения методики исследования ударного нагружения думпкаров составляет 30 тыс. руб. в год.

Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в опубликованных автором статьях:

1. Об исследовании ударного нагружения вагона-самосвала при подсыпке защитного слоя. Тр. ДИИТ, 1976, вып. 182/22 (соавтор Барбас И.Г.).

2. Об ударном нагружении кузова думпкара сосредоточенным грузом. Проблемы механики железнодорожного транспорта. Киев: Наук. думка, 1980 (соавтор Барбас И.Г.).
3. О численном решении уравнения поперечного упругого удара С.П. Тимошенко. Тр. ДИИТ, 1980, вып. 210/27.
4. О прочности кузовов транспортных средств, загружаемых в карьерах. Тр. ДИИТ, 1981, вып. 220/28 (соавтор Барбас И.Г.).
5. Способ определения напряжений в конструкциях при нагружении падающим грузом. Нагруженность и динамические качества механических систем. Киев: Наук. думка, 1981 (соавтор Барбас И.Г.).

Попкович Александр Васильевич
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ КАЧЕСТВ
ДУМПКАРОВ ПРИ НАГРУЖЕНИИ ПАДАЮЩИМ
СОСРЕДОТОЧЕННЫМ ГРУЗОМ

05.22.07 – Подвижной состав и тяга поездов

Подписано к печати 30.04.82. БТ 61269.

Формат 60x84 1/16. Бумага для множительных аппаратов. Ротапринт.
Усл. печ. л. 1,1. Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №981.

Бесплатно.

Участок оперативной полиграфии ДИИТа.
320629, ГСП, Днепропетровск, 10, ул. Авад. В.А. Давыденко, 2