

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

МКРТИЧЬЯН Дмитро Ігорович

УДК 656.212.6.073.22

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ УМОВ НАВАНТАЖЕННЯ
ТА КРІПЛЕННЯ ШТАБЕЛЬНИХ ВАНТАЖІВ НА
ВІДКРИТОМУ РУХОМОМУ СКЛАДІ**

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2003

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі “Управління вантажною і комерційною роботою” Української державної академії залізничного транспорту Міністерства транспорту України

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор

Котенко Анатолій Миколайович, завідувач кафедри “Управління вантажною і комерційною роботою”, Українська державна академія залізничного транспорту

Офіційні опоненти:

Головко Владислав Федорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Вагони” Української державної академії залізничного транспорту

Цегельник Микола Лук’янович, кандидат технічних наук, доцент кафедри “Управління експлуатаційною роботою” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту

Провідна установа

Київський університет економіки і технологій транспорту Міністерства транспорту України, м. Київ

Кафедра “Організація перевезень і управління на транспорті”

Захист відбудеться “_____” _____ р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту, Україна, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту, Україна, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7

Автореферат розісланий “___” _____ 2003 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Бабанін О. Б.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. Якщо порівнювати перевезення вантажів у критих вагонах та на відкритому рухомому складі, то у другому випадку є декілька переваг. Наприклад, спрощується механізація вантажно-розвантажувальних робіт, збільшується використання вантажопідйомності вагона та зменшується простій вагонів під вантажними операціями.

Однак такий вид перевезення вантажів є водночас найбільш складним, тому що до нього пред'являються підвищені вимоги до якості розробки технічних умов розміщення та кріплення вантажів з метою забезпечення їх схоронності та безпеки руху на всьому шляху прямування. Причому особливі труднощі виникають при перевезенні штабельних вантажів, тому що дотепер не існує чітких методів розрахунку кріплення вантажів даного виду.

Актуальність теми. Існуючі на даний час “Технические условия погрузки и крепления грузов” значно застаріли, а методи розрахунку і технічні умови навантаження та кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі недосконалі і не відповідають сучасним вимогам до забезпечення безпеки руху. Більшість залізобетонних виробів та інших штабельних вантажів перевозяться за місцевими технічними умовами, а це приводить до розладнання навантаження та кріплення в процесі перевезення та до значних збитків.

Внаслідок невідповідності методів розрахунку і технічних умов фактичним умовам експлуатації залізниць не забезпечується безпека руху та схоронність вантажів. Так, згідно зі звітними даними Головного комерційного управління Укрзалізниці, тільки за 2002 рік пунктами комерційного огляду на залізницях було виявлено 4397 випадків незабезпечення безпеки руху та схоронності вантажів, 20% з яких приходиться на штабельні вантажі при повному дотриманні вантажовідправниками вимог “Технических условий погрузки и крепления грузов”.

Таким чином, виникає потреба в удосконаленні методів і технічних умов навантаження та кріплення штабельних вантажів при перевезенні їх на відкритому рухомому складі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до Концепції та Програми реструктуризації залізничного транспорту України (схвалена Радою Укрзалізниці – протокол 5 від 24 квітня 1997 р., затверджена рішенням Колегії Міністерства транспорту України – протокол 14 від 18 червня 1997 р.), Програми підвищення безпеки руху на залізницях України в 1997 – 2001 рр. (затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 22.04.97 р. №367), Постанови Кабінету Міністрів України № 821 від 04.08.97 р. про затвердження Концепції створення й функціонування національної мережі транспортних коридорів в Україні, а також до науково-дослідницьких робіт за темами №03/01 від 10.02.2003 р. та №7/23 від 05.12.2002 р. (держ. реєстрація №0102U006685 від 2002 р.).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення методів розрахунку та технічних умов навантаження і кріплення залізобетонних виробів та інших вантажів, що перевозяться штабелями на відкритому рухомому складі. Поставлена мета визначила такі основні задачі дослідження:

- аналіз сучасного стану методів розрахунку та методів удосконалення технічних умов навантаження та кріплення вантажів;
- розробка критеріїв ефективності і надійності деталей та інших пристроїв для кріплення вантажів;
- розробка математичних моделей переміщення штабельних вантажів у поздовжньому та поперечному напрямках;
- удосконалення методів розрахунку деталей та інших пристроїв для кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі від поздовжнього та поперечного пересування;
- розробка математичних моделей стійкості вантажу у вагоні до поздовжнього та поперечного перекидання;
- визначення межі швидкості співудару вагонів та руху поїзда, що забезпечують стійкість вантажу у вагоні від поздовжнього та поперечного перекидання;
- встановлення оптимального рівня схоронності вантажів.

Об'єкт дослідження. Вагон зі штабельним вантажем.

Предмет дослідження. Процес навантаження, кріплення та перевезення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі.

Методами дослідження є:

- теоретичні, з використанням математичного моделювання пересування штабельних вантажів у поздовжньому та поперечному напрямках при маневрових операціях та русі в перехідних і кривих ділянках колії із застосуванням принципу Даламбера, теореми про зміну кінетичної енергії в кінцевій формі та економічного аналізу;
- експериментальні, на базі натурних випробувань із застосуванням вимірювальних пристроїв;
- співставлення теоретичних та експериментальних досліджень з використанням методів статистичного аналізу та математичної обробки матеріалів спостережень експериментів.

Наукова новизна отриманих результатів. Вирішена наукова задача отримання нових теоретичних і експериментальних результатів в галузі умов розміщення та кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі, що є істотним для розвитку експлуатаційної науки.

Вперше створені та запропоновані:

- математичні моделі руху штабельних вантажів (закріплених і незакріплених) у вагонах;

- критерії оцінки надійності та ефективності деталей та інших пристроїв для кріплення вантажів;

- критерій оптимального рівня схоронності вантажів.

Удосконалені:

- метод розрахунку деталей та інших пристроїв для кріплення штабельних вантажів на міцність при переміщенні у поздовжньому та поперечному напрямках;

- метод кріплення вантажів від переміщення у поздовжньому напрямку з урахуванням їх відриву від підлоги вагона при маневрових операціях;

- метод забезпечення стійкості вантажів у вагонах від поздовжнього та поперечного перекидання при маневрових операціях та русі в поїздах.

Дістали подальшого розвитку:

- метод розрахунку деталей та інших пристроїв для кріплення на міцність з урахуванням відстані перевезень та їх довговічності;

- принципи розрахунку деталей та інших пристроїв для кріплення вантажу на особливий (евакуаційний) період.

Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій обумовлена коректністю постановки та вирішення задач, коректністю використаного математичного апарату та адекватністю імітаційної моделі реальним об'єктам. Підтвердженням достовірності є задовільний збіг результатів імітаційного моделювання з результатами експериментальних досліджень, а останні, в свою чергу, підтверджені результатами обробки натурних спостережень (не менш 97%).

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені критерії оцінки надійності і ефективності деталей та інших пристроїв для кріплення вантажів дозволяють підвищити якість перевезень та зменшити витрати матеріалів, які використовуються для кріплення вантажів, а також скоротити експлуатаційні витрати залізниць на утримання робітників пунктів комерційного огляду та на матеріали, що необхідні для відновлення відмов кріплення на всьому шляху проходження вантажу.

Розроблені математичні моделі дозволяють запровадити заходи по попередженню пошкодження штабельних вантажів під час перевезення.

Удосконалений метод розрахунку стійкості вантажу у вагоні до поздовжнього та поперечного перекидання дає змогу заощадити кріпильні матеріали, знизити вартість перевезення та підвищити конкурентоспроможність залізниць.

Удосконалений метод розрахунку деталей та інших пристроїв для кріплення вантажів від поздовжнього пересування з урахуванням текучості матеріалу і відсутності сили тертя підвищує схоронність вантажів та безпеку руху.

Розроблені імітаційні моделі дають можливість розрахувати оптимальну кількість розтяжок та інших пристроїв, необхідних для кріплення штабельних вантажів.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, які наведені у додатках.

Особистий внесок здобувача. Всі положення і результати, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. У публікаціях у співавторстві автору належать: в роботі [1] запропоновані методи розрахунку сил, які діють як на вантаж, так і на деталі кріплення, розроблені диференційні рівняння руху штабельних вантажів; в роботі [2] проаналізовано діючі на залізницях України “Технические условия погрузки и крепления грузов” та наведено основні напрямки їх удосконалення; в роботі [3] запропоновані нові критерії для оцінки надійності та ефективності деталей та інших пристроїв кріплення вантажів; в роботах [4, 5] розроблені методи розрахунку технічних умов навантаження та кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі з використанням принципу Даламбера та теореми про зміну кінетичної енергії; в роботі [6] запропоновано критерій оптимального рівня схоронності вантажів; у роботах [7, 8, 9] розроблена та викладена методика проведення експериментальних досліджень та наведено їх основні результати.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідались, обговорені та схвалені на:

- першій всеукраїнській науковій конференції “Проблеми управління якістю” (Київ, березень 2001 р.);
- XXXI науково-технічній конференції викладачів, аспірантів та співробітників Харківської державної академії міського господарства (Харків, жовтень 2002 р.);
- міжнародних науково-технічних конференціях і семінарах кафедр УкрДАЗТ (ХарДАЗТ) та співробітників залізничного транспорту у 2000 – 2002 рр.

Публікації. За темою дисертації опубліковано дев'ять наукових праць у фахових виданнях, які затверджені ВАК України.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Повний обсяг роботи містить 171 сторінку, з них об'єм основного тексту 130 сторінок; додатків, списку використаних джерел, рисунків та таблиць 41 сторінка. Робота ілюстрована 29 рисунками, наведено 9 таблиць. Список використаних джерел складається зі 113 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, сформульовані мета і задачі досліджень, відображена наукова новизна, практичне значення отриманих результатів і особистий внесок автора, наведена інформація про апробації і публікації результатів дослідження.

У першому розділі проведено аналіз відмовлень кріплення і незабезпечення схоронності вантажів на залізницях України, “Технических условий погрузки и

кріплення грузов” та методів розрахунку деталей і інших пристроїв кріплення вантажів на відкритому рухомому складі.

Всі випадки, які сталися на залізницях України за останні роки, можна об’єднати за такими загальними ознаками:

- розвалення штабельних вантажів, завантажених на відкритий рухомий склад;
- завантаження вагонів вантажовідправником понад вантажопідйомність (перевантаження вагонів);
- розвалення вертикально навантажених вантажів;
- незабезпечення монолітності вантажу;
- навантаження залізобетонних плит, конструкцій і ін., в похилому положенні з обпиранням на стінки кузова піввагона;
- недостатнє очищення підлоги вагона, підкладок, опорної поверхні вантажу від снігу, льоду, бруду, мастила і не посипання тонким шаром сухого піску;
- технічна несправність опорно-кріпильних або турнікетних пристроїв для перевезення залізобетонних конструкцій і виробів;
- пошкодження залізобетонних виробів і конструкцій під дією динамічних навантажень при транспортуванні;
- пред’явлення до перевезення залізобетонних виробів міцність яких не досягла проектної.

За останні десятиріччя питаннями умов перевезень, розміщення та кріплення вантажів на відкритому рухомому складі займалися вчені таких провідних установ, як Всеросійський науково-дослідний інститут залізничного транспорту Міністерства шляхів сполучення Росії, Московський та Петербурзький державні університети шляхів сполучення, Новосибірський та Свердловський інститути залізничного транспорту, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту, а також кафедра “Управління вантажною та комерційною роботою” Української державної академії залізничного транспорту. Питаннями їх удосконалення займалися такі вчені, як В. К. Бешкет, С. О. Єгоров, Г. П. Єфімов, Г. П. Курочкін, В. А. Лазарян, А. Д. Малов, А. В. Островський, А. О. Поляков, Є. Д. Псеровська та ін. Методи розрахунку, які були розроблені, знайшли своє відображення в діючих “Технических условиях погрузки и крепления грузов”.

Що стосується “Технических условий погрузки и крепления грузов”, то вони востаннє перевидувались Міністерством шляхів сполучення СРСР у 1988 р. і на даний час істотно застаріли та вимагають переробки для умов залізничного транспорту України. Це пов’язано, по-перше, з концепцією України як транзитної держави, створенням транспортних коридорів і необхідністю прискорення доставки і забезпечення схоронності вантажів, а, по-друге, з тим, що у технічних умовах відсутні чіткі методи розрахунку розміщення та кріплення штабельних вантажів, що негативно впливає на безпеку руху та схоронність вантажів.

Другий розділ присвячений створенню теоретичних основ розробки технічних умов навантаження та кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі. Запропоновані нові критерії оцінки ефективності та надійності деталей та інших пристроїв для кріплення вантажів. До критеріїв ефективності відносяться: відношення часу на усунення відмов деталей кріплення на шляху доставки до часу на технічний і комерційний огляд вагонів; маси матеріалів, необхідних на усунення відмов деталей кріплення до загальних витрат матеріалів на деталі кріплення вантажу на місці навантаження; частки вагонів з комерційними відмовленнями; використання вантажопідйомності вагона; витрата матеріалів на деталі кріплення на одну тонну маси вантажу, один тонно-кілометр перевезення, один кілометр перевезення, один завантажений вагон, 1 м³ вантажу; вартості закріплення вантажу до вартості вантажу. А відношення часу на кріплення вантажу до часу на навантаження вантажу у вагон та часу на зняття деталей кріплення до загального часу розвантаження вагона; несхоронності вантажів; втрати вантажів на один тонно-кілометр перевезення є критеріями надійності.

Розроблені математичні моделі пересування тарно-упакованих та штабельних вантажів. Для вантажів, які допускають значне переміщення при перевезенні, перевірка дротових розтяжок виконується на довговічність з умови

$$\Delta L_p < [\Delta L_p],$$

(1)

де ΔL_p – можливе подовження розтяжки за час доставки вантажу, м;

$[\Delta L_p]$ – допустиме подовження розтяжки з умови межі текучості матеріалу розтяжки та забезпечення схоронності вантажу, м.

Згідно з теоремою про зміну кінетичної енергії переміщення вантажу закріпленого у вагоні в поздовжньому напрямку, у тому випадку, коли сила нормального тиску $N > 0$, гаситься роботою сил пластичної деформації дротових розтяжок та силою тертя

$$\frac{m}{2} \left[\left(\frac{dX_0}{dt} \right)^2 - \left(\frac{dX}{dt} \right)^2 \right] = \left[K' n' \frac{\pi d^2}{4} [\sigma_m] (\mu \sin \alpha + \cos \alpha \cos \beta_{noz}) + m g \mu \operatorname{Sign} \left(\frac{dX_0}{dt} \right) \right] X_0,$$

(2)

де m – маса вантажу, кг; $\frac{dX_0}{dt}$, $\frac{dX}{dt}$ – відповідно початкова та кінцева швидкість руху вантажу по підлозі вагона, м/с; $[\sigma_m]$ – межа текучості матеріалу дротових розтяжок, Н/м²; n' , K' – кількість розтяжок, які закріплюють штабель вантажу від переміщення у поздовжньому напрямку, та кількість ниток дроту в одній розтяжці; β_{noz} – кут між проекцією розтяжки на горизонтальну площину та поздовжньою віссю вагона, рад; α – кут між розтяжкою та проекцією розтяжки на горизонтальну площину, рад; X_0 – переміщення вантажу у поздовжньому напрямку за один удар в автозчеплення вагона, м; N – сила нормального тиску вантажу на поверхню підкладок чи підлоги вагона, Н, $Sign\left(\frac{dX_0}{dt}\right) = -1, +1$ – залежить від напрямку удару, d – діаметр дроту, м; μ – коефіцієнт тертя.

У випадку, коли $N = 0$

$$\frac{m}{2} \left[\left(\frac{dX_0}{dt} \right)^2 - \left(\frac{dX}{dt} \right)^2 \right] = K' n' \frac{\pi d^2}{4} [\sigma_m] \cos \alpha \cos \beta_{noz} X_0 \quad .$$

(3)

Оскільки кінцева швидкість вантажу $\frac{dX}{dt} = 0$, то рівняння (2) набуває вигляду

$$\frac{m}{2} \left(\frac{dX_0}{dt} \right)^2 = \left[K' n' \frac{\pi d^2}{4} [\sigma_m] (\mu \sin \alpha + \cos \alpha \cos \beta_{noz}) + m g \mu \operatorname{Sign} \left(\frac{dX_0}{dt} \right) \right] X_0 \quad .$$

(4)

Для другого розрахункового сполучення у проекціях на вісь Z для вантажів, центр маси яких знаходиться в одній площині із поперечною віссю вагона (рис. 3)

$$\frac{m}{2} \left(\frac{dZ_0}{dt} \right)^2 = \left\{ K'' n'' \frac{\pi d^2}{4} [\sigma_m] (\mu \sin \alpha + \cos \alpha \cos \beta_n) + m g \sin \lambda + \right. \\ \left. + \left(m g \cos \lambda + \left(\frac{m V_n^2}{R} \right) \sin \lambda \right) \mu - \left(\frac{m V_n^2}{R} \right) - pS \right\} Z_0 \quad ,$$

(5)

де n'' , K'' – кількість розтяжок, які закріплюють штабель вантажу від переміщення у поперечному напрямку, та кількість ниток дроту в одній розтяжці; p – питоме вітрове навантаження, Н/м²; S – площа поверхні дії вітру на вантаж, м²; β_n – кут між проекцією розтяжки на горизонтальну площину і поперечною віссю вагона, рад; Z_0 – пересування вантажу в напрямку вісі Z, м; V_n – швидкість руху поїзда в кривих та перехідних ділянках колії, м/с, R – радіус кривої ділянки колії, м.

Для першого розрахункового сполучення для штабеля вантажу (рис. 1)

$$\frac{m}{2} \left(\frac{dX_1}{dt} \right)^2 = \left[K'_1 n'_1 \frac{\pi d_1^2}{4} [\sigma_m] (\mu \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1 \cos \beta_{noz_1}) + m g \mu \operatorname{Sign} \left(\frac{dX_1}{dt} \right) \right] X_1;$$

$$\frac{m}{2} \left(\frac{dX_2}{dt} \right)^2 = \left[-m g \mu \operatorname{Sign} \left(\frac{dX_1}{dt} \right) + K'_2 n'_2 \frac{\pi d_2^2}{4} [\sigma_m] (\mu \sin \alpha_2 + \cos \alpha_2 \cos \beta_{noz_2}) + 2 m g \mu \operatorname{Sign} \left(\frac{dX_1}{dt} \right) \right] X_2;$$

(6)

$$\begin{aligned} & \dots \dots \dots \\ & \frac{m}{2} \left(\frac{dX_i}{dt} \right)^2 = \left[-(i-1) m g \mu \operatorname{Sign} \left(\frac{dX_{(i-1)}}{dt} \right) + K'_i n'_i \frac{\pi d_i^2}{4} [\sigma_m] \right] \times \\ & \qquad \times (\mu \sin \alpha_i + \cos \alpha_i \cos \beta_{noz_i}) + i m g \mu \operatorname{Sign} \left(\frac{dX_i}{dt} \right) \Big] X_i, \end{aligned}$$

де i – кількість ярусів в штабелі.

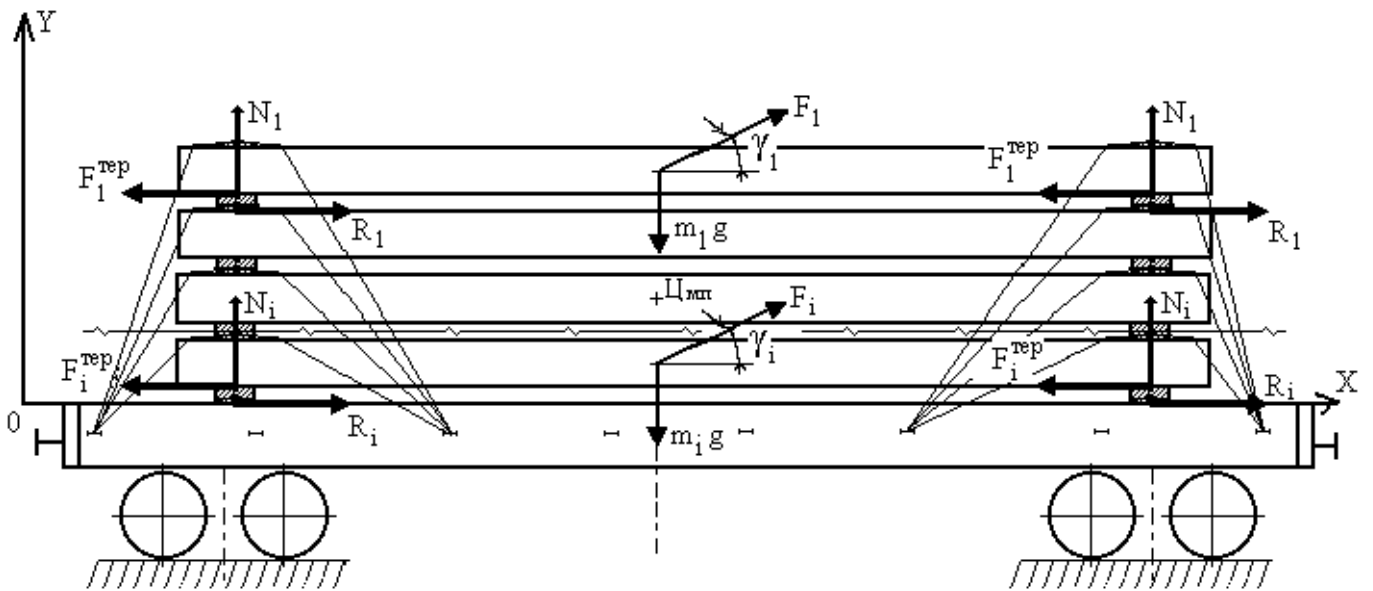


Рис. 1 – Сили, які діють на штабель вантажу, при виконанні маневрових операцій

При маневрових операціях встановлено два види руху вантажу: перший – коли швидкість співудару вагонів не перевищує 4,32 км/год, сила нормального тиску $N > 0$ – вантаж сковзає по підлозі вагона, та другий – коли швидкість співудару більша ніж 4,32 км/год, сила нормального тиску $N = 0$, відбувається відрив вантажу від підлоги вагона (рис. 2).

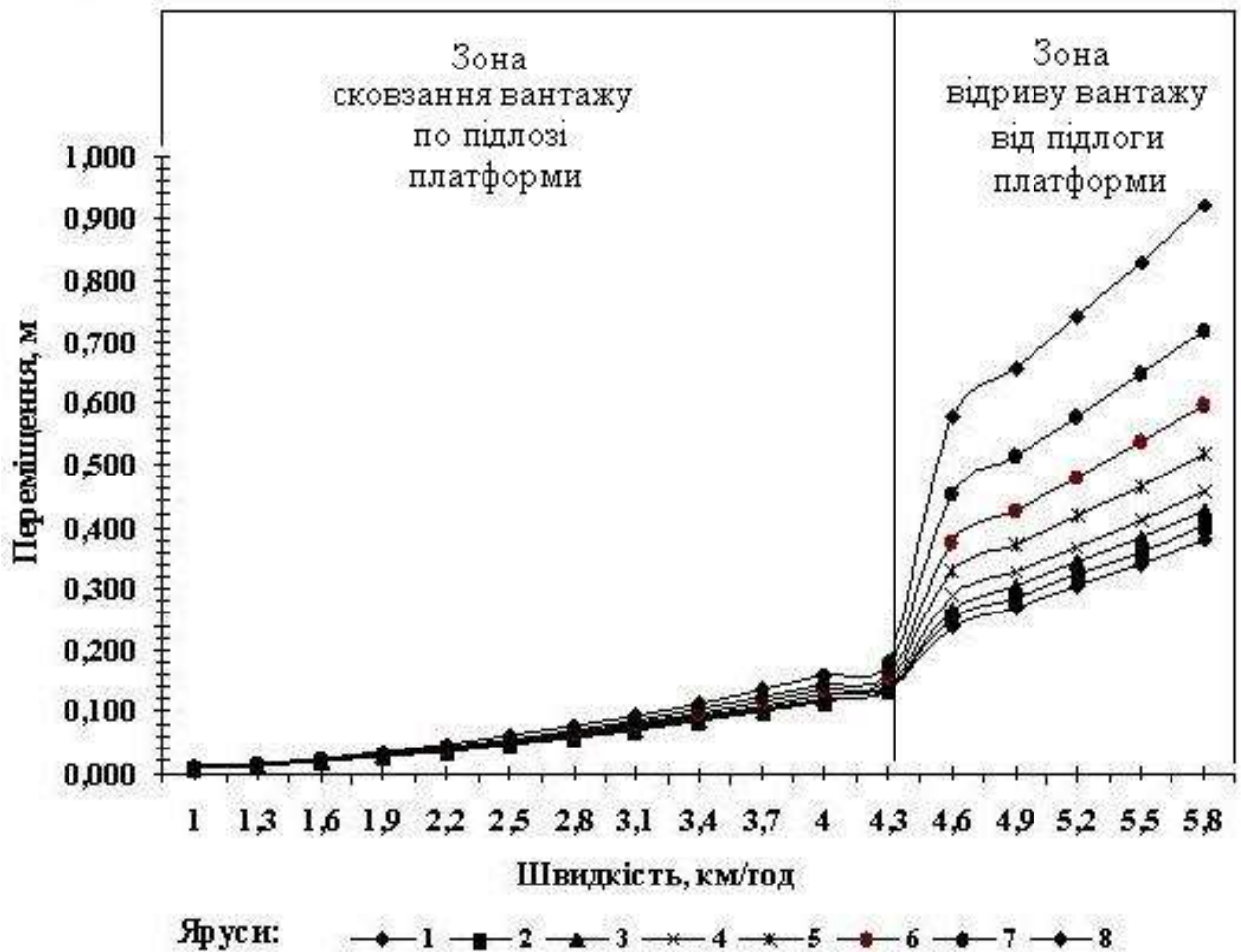
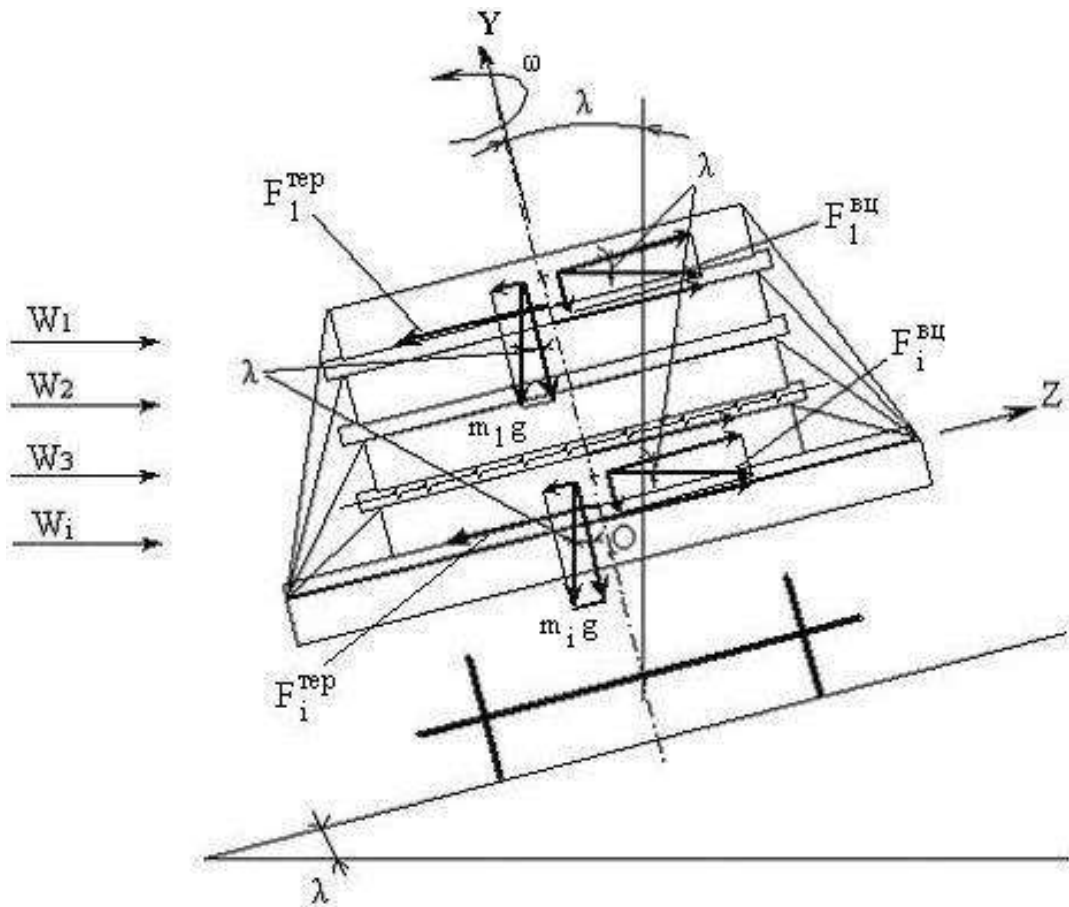


Рис. 2 – Результати моделювання руху закріплених на платформі ярусів штабельних вантажів при виконанні маневрових операцій

Для другого розрахункового сполучення для штабеля вантажу (рис. 3)

$$\begin{aligned} \frac{m}{2} \left(\frac{dZ_1}{dt} \right)^2 &= \left\{ K_1'' n_1'' \frac{\pi d_1^2}{4} [\sigma_m] (\mu \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1 \cos \beta_n) + m g \sin \lambda + \right. \\ &\quad \left. + \left(m g \cos \lambda + \left(\frac{m V_n^2}{R} \right) \sin \lambda \right) \mu - \left(\frac{m V_n^2}{R} \right) - p S_1 \right\} Z_1; \\ \frac{m}{2} \left(\frac{dZ_2}{dt} \right)^2 &= \left\{ - \left(m g \cos \lambda + \left(\frac{m V_n^2}{R} \right) \sin \lambda \right) \mu + K_2'' n_2'' \frac{\pi d_2^2}{4} [\sigma_m] \times \right. \\ &\quad \times (\mu \sin \alpha_2 + \cos \alpha_2 \cos \beta_{n_2}) + m g \sin \lambda + 2 m \mu g \cos \lambda + \\ &\quad \left. + 2 m \left(\frac{V_n^2}{R} \right) \mu \sin \lambda - \left(\frac{m V_n^2}{R} \right) - p S_2 \right\} Z_2; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{m}{2} \left(\frac{dZ_i}{dt} \right)^2 = & \left\{ -((i-1)mg \mu \cos \lambda + (i-1)m \left(\frac{V_n^2}{R} \right) \mu + \right. \\ & \left. + K_i'' n_i'' \frac{\pi d_i^2}{4} [\sigma_m] (\mu \sin \alpha_i + \cos \alpha_i \cos \beta_{n_i}) + mg \sin \lambda + \right. \\ & \left. + img \mu \cos \lambda + im \left(\frac{V_n^2}{R} \right) \mu \sin \lambda - \left(m \frac{V_n^2}{R} - p S_i \right) \right\} Z_i. \end{aligned}$$



$F^{тер}$ – сила тертя ярусу по підкладкам або прокладкам, Н; $F^{вц}$ – відцентрова сила інерції, Н, W – вітрове навантаження, Н/м².

Рис. 3 – Сили, які діють на штабель вантажу на платформі в кривих та перехідних ділянках колії

У випадку, коли $N > 0$, згідно з принципом Даламбера у кожний даний момент сила тертя, сила реакцій зв'язку (розтяжок або упорних брусків) та сила інерції взаємно врівноважуються, тобто

$$\sum_{i=1}^n \bar{F}_{1i} + \sum_{j=1}^k \bar{F}_{2j} + \bar{F}_{in} = 0,$$

(8)

де \bar{F}_{1i} – активні сили, які діють на вантаж, Н; \bar{F}_{2j} – сили реакцій зв'язків, Н.

Сили, що діють на штабель вантажу при маневрових операціях, розраховуються як (рис. 1):

– для першого ярусу

$$F_1^x = \ddot{x} m \cos \gamma; \quad F_1^y = \ddot{y} m \sin \gamma; \quad F_1^{mep} = \mu N;$$

$$\Delta F_1^{zop} = \ddot{x} m \cos \gamma - \mu N \quad ;$$

$$\Delta F_1^{epm} = \ddot{y} m \sin \gamma - m g. \quad (9)$$

– для другого ярусу

$$F_2^x = \ddot{x} m \cos \gamma + F_1^{mep}; \quad F_2^y = \ddot{y} m \sin \gamma; \quad F_2^{mep} = 2 \mu N;$$

$$\Delta F_2^{zop} = F_2^x - F_2^{mep} = \ddot{x} m \cos \gamma + \mu N - 2 \mu N = \ddot{x} m \cos \gamma - \mu N;$$

$$\Delta F_2^{epm} = \ddot{y} m \sin \gamma - 2 m g.$$

(10)

– для і-го ярусу:

$$F_i^x = \ddot{x} m \cos \gamma + F_{(i-1)}^{mep}; \quad F_i^y = \ddot{y} m \sin \gamma; \quad F_i^{mep} = i \mu N;$$

$$\Delta F_i^{zop} = F_i^x - F_i^{mep} = \ddot{x} m \cos \gamma + (i-1) \mu N - i \mu N = \ddot{x} m \cos \gamma - \mu N;$$

$$\Delta F_i^{epm} = \ddot{y} m \sin \gamma - i m g.$$

(11)

При другому розрахунковому сполученні сили, що діють на штабель вантажу визначаються:

– для першого ярусу

$$\Delta F_n^I = m \left(\frac{V_n^2}{R} \right) \cos \lambda + p S_1 - m g \sin \lambda -$$

$$- m g \mu \cos \lambda - m \left(\frac{V_n^2}{R} \right) \mu \sin \lambda; \quad (12)$$

– для другого ярусу

$$\begin{aligned} \Delta F_n^H = & -m g \sin \lambda - 2 \left(m g \mu \cos \lambda + m \left(\frac{V_n^2}{R} \right) \mu \sin \lambda \right) + \\ & + m \left(\frac{V_n^2}{R} \right) \cos \lambda + p S_2 + m g \mu \cos \lambda + \\ & + m \left(\frac{V_n^2}{R} \right) \mu \sin \lambda ; \end{aligned} \quad (13)$$

– для і-го ярусу

$$\begin{aligned} \Delta F_i^N = & m \left(\frac{V_n^2}{R} \right) \cos \lambda + p S_i - m g \sin \lambda - \\ & - i \left(m g \mu \cos \lambda + m \left(\frac{V_n^2}{R} \right) \sin \lambda \right) + \\ & + (i-1) \left(m g \mu \cos \lambda + m \left(\frac{V_n^2}{R} \right) \mu \sin \lambda \right). \end{aligned} \quad (14)$$

Визначення коефіцієнтів стійкості вантажу за математичними виразами, наведеними у чинних “Технических условиях погрузки и крепления грузов”, вимагають значних нераціональних витрат дефіцитних матеріалів (дроту та пиломатеріалів) на закріплення проти перекидання. Тому стійкість вантажу у вагоні запропоновано визначати у поздовжньому напрямку через мінімальну швидкість співудару вагонів, а у поперечному – через швидкість руху поїзда в кривих та перехідних ділянках колії, які є причиною перекидання вантажу.

Зміна кінетичної енергії для рисунка 4 при перекиданні вантажу уздовж вагона запишеться у вигляді

$$\frac{m}{2} \left[\left(\frac{dX_0}{dt} \right)^2 - \left(\frac{dX}{dt} \right)^2 \right] = A_1 + A_2, \quad (15)$$

де A_1 – робота сил, що діють на вантаж при пересуванні центру маси вантажу (ЦМВ) на відстань L , Дж; $A_1 = m g \mu L$; A_2 – робота сил перекидання вантажу, Дж

$$A_2 = A'_1 + A'_2,$$

(16)

де A'_1 – робота по горизонтальному пересуванню ЦМВ на відстань l_{noz}^o , Дж;
 l_{noz}^o – найкоротша відстань від проекції центру маси вантажу на горизонтальну площину до ребра перекидання поздовж вагона, м; A'_2 – робота по підніманню ЦМВ на висоту h , Дж.

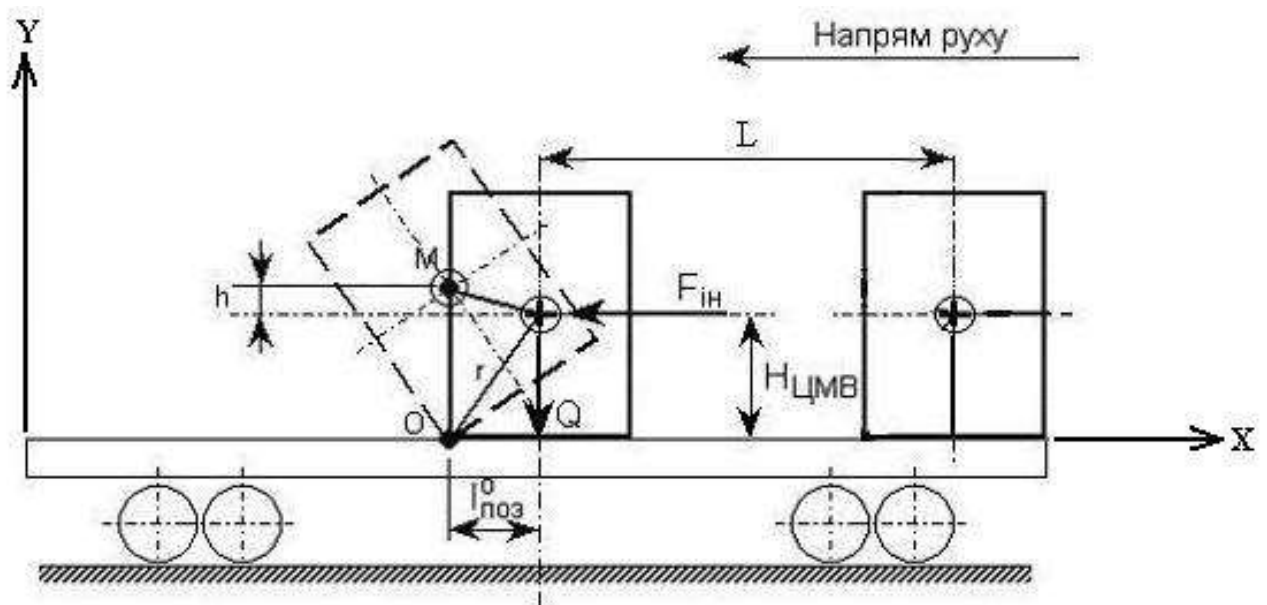


Рис. 4 – Перекидання вантажу у поздовжньому напрямку

Після перетворень отримаємо мінімальну швидкість співудару вагонів, при якій не забезпечується стійкість вантажу у вагоні

$$\frac{dX_0}{dt} = \sqrt{2g \left[l_{noz}^o + \sqrt{(l_{noz}^o)^2 + H_{ЦМВ}^2} - H_{ЦМВ} \right]},$$

(17)

де $H_{ЦМВ}$ – висота ЦМВ над підлогою вагона або поверхнею підкладок, м.

У тому випадку, коли вантаж не закріплений

$$\frac{dX_0}{dt} = \sqrt{2g \left[\mu L + l_{noz}^o + \sqrt{(l_{noz}^o)^2 + H_{ЦМВ}^2} - H_{ЦМВ} \right]}.$$

(18)

При проходженні вагоном кривих та перехідних ділянок колії мінімальна швидкість руху вантажу, при якій не забезпечується його стійкість поперек вагона

$$\frac{dZ_0}{dt} = \sqrt{2g \left[\sqrt{H_{ЦМВ}^2 + (b_n^o)^2} \cdot \text{Cos}(\alpha - \gamma) + \sqrt{H_{ЦМВ}^2 + (b_n^o)^2} \cdot [1 - \text{Sin}(\alpha - \gamma)] \right]},$$

(19)

де b_n^o – найкоротша відстань від проекції ЦМВ на горизонтальну площину до ребра перекидання поперек вагона, м; γ – кут нахилу вагона при проходженні кривих та перехідних ділянок колії, рад.

Фактична швидкість руху (рис. 5) вантажу поперек вагона визначається із рівняння його відносного руху в проекції на вісь Z

$$\frac{dZ}{dt} = \left[\frac{1}{R} V_n^2 \text{Cos} \gamma - g \text{Sin} \gamma - \left(g \text{Cos} \gamma + \frac{1}{R} V_n^2 \text{Sin} \gamma \right) \mu \right] t.$$

(20)

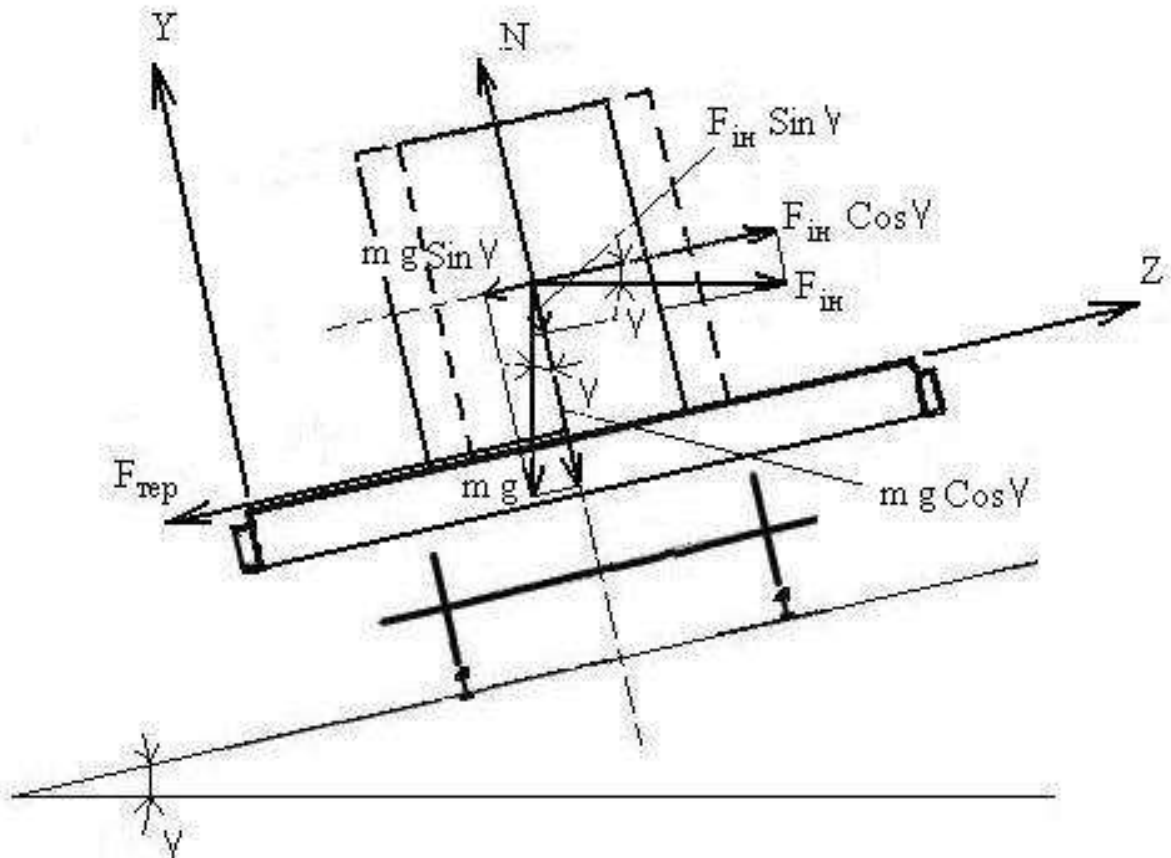


Рис. 5 – Відносний рух вантажу в поперечному напрямку

У третьому розділі наведені результати експериментальних досліджень.

Питання, які розглядалися під час експериментів, такі:

- вплив швидкості співудару вагонів на пересування незакріплених і закріплених ярусів штабельних вантажів;
- вплив швидкості співудару вагонів та руху поїзда в кривих та перехідних ділянках колії на перекидання вантажів та встановлення безпечного рівня коефіцієнта запасу стійкості вантажів η ;
- перевірка існування різних режимів руху вантажу по підлозі вагона.

В ході експериментів отримані наступні результати:

- при першому розрахунковому сполученні:
 - 1) незакріплений штабель переміщується, як одиночний вантаж;
 - 2) закріплення одного з ярусів не впливає на переміщення інших ярусів у штабелі;
 - 3) при швидкості співудару вагонів до 4,32 км/год вантаж рухається без відриву від підлоги вагона;
 - 4) при швидкості співудару вагонів 4,32 км/год та більше, відбувається відрив вантажу від підлоги та значно збільшується його переміщення;

- 5) перекидання вантажів виникає в кінці їх поступового пересування при значеннях коефіцієнта стійкості η від 0,52 та менше, залежно від $H_{ЦМВ}$ та l_{noz} (дані наведені в таблиці).
- при другому розрахунковому сполученні:
- 1) існує тільки один режим руху вантажу – сковзання по підлозі вагона;
 - 2) незакріплений штабель переміщується, як одиночний вантаж;
 - 3) закріплення одного з ярусів не впливає на переміщення інших ярусів у штабелі.

Таблиця – Результати експериментальних досліджень стійкості вантажу у вагоні

Швидкість співудару вагонів				Коефіцієнт тертя вантажу по підлозі вагона	Переміщення вантажів, м	Коефіцієнт стійкості вантажів до перекидання	Відмітка про стійкість вантажів
м/с		км/год					
факт	розрах.	факт	розрах.				
1,50	2,66	5,40	9,58	0,45	0,480	0,91	забезпеч.
1,80	1,67	6,48	6,02	0,46	0,200	0,36	не забезп.
1,43	2,16	5,20	7,78	0,45	0,310	0,57	забезпеч.
1,85	1,75	6,66	6,30	0,45	0,198	0,46	не забезп.
1,20	2,35	4,32	8,46	0,46	0,270	0,57	забезпеч.
1,60	1,56	5,76	5,62	0,46	0,108	0,52	не забезп.

У четвертому розділі запропонований критерій оптимального рівня забезпечення схоронності вантажів, у вигляді

$$R_{нк} = R_{вм} + R_{вз} + R_{зм} + R_{зз} + R_{за} + R_{зр} + R_{зе} + R_{зу} + R_{зз} + R_{зс} \rightarrow \min, \quad (20)$$

де $R_{вм}$ – витрати вантажовідправників на матеріали для кріплення вантажів по всіх пунктах навантаження, грн; $R_{вз}$ – витрати вантажовідправників на заробітну плату працівникам, які забезпечують навантаження і закріплення вантажів по всіх пунктах навантаження, грн; $R_{зм}$ – витрати залізниць на усунення відмовлень деталей кріплення на шляху прямування по всіх пунктах комерційного огляду, грн; $R_{зз}$ – витрати залізниць на заробітну плату робітників пунктів комерційного огляду, грн; $R_{оф}, R_{доф}$ – відповідно основні і додаткові витрати по фонду заробітної плати для залізниць, грн; $R_{за}$ – витрати залізниць на амортизацію навантажувально-розвантажувальних пристроїв, які застосовуються на пунктах комерційного огляду для усунення комерційних несправностей, грн; $R_{зр}$ – витрати залізниць на поточний та середній ремонт навантажувально-розвантажувальних

машин на пунктах комерційного огляду, грн; R_{ze} – витрати залізниць на силову енергію, яку споживають навантажувально-розвантажувальні машини, грн; R_{zy} – витрати залізниць, пов'язані з пошкодженням вагонів і несхоронністю вантажів, через відмовлення деталей кріплення, грн; R_{zz} – витрати залізниць, пов'язані з затримкою поїздів з вантажами і маневровими операціями по відчепленню вагонів для усунення комерційних несправностей, грн; R_{zc} – витрати залізниць на придбання, встановлення та експлуатацію автоматизованих систем контролю стану кріплення, а також вантажу на шляху прямування, грн.

У додатках до роботи наведений докладний алгоритм програми по визначенню способу навантаження та кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі, результати імітаційного моделювання поведінки вантажу та реквізитів кріплення на ПЕОМ та документи, що підтверджують упровадження результатів, отриманих у дисертації.

ВИСНОВКИ

Дисертація містить отримані автором наукові результати, які у сукупності дають можливість зробити висновок про те, що їх застосування дозволить вирішити задачу удосконалення технічних умов навантаження та кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі і тим самим підвищити рівень безпеки руху та схоронність вантажів, що перевозяться залізничним транспортом, таким чином поставлена мета та задачі вирішені.

На підставі проведених у дисертації досліджень можна зробити такі висновки.

1 Проведений аналіз показав, що діючі на залізницях “Технические условия погрузки и крепления грузов” значно застаріли, а методи розрахунку навантаження та кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі недосконалі та не відповідають сучасним вимогам по забезпеченню безпеки руху.

2 Розроблені критерії ефективності та надійності деталей, вузлів та інших пристроїв кріплення вантажів, які дають можливість покращити використання вантажопідйомності та місткості вагонів, підвищити рівень безпеки руху та схоронності вантажів, збільшити прибутки залізниць, скоротити експлуатаційні витрати вантажовідправників на матеріали для кріплення вантажів у вагонах та залізниць – на ліквідування відмовлень деталей та інших пристроїв кріплення на шляху прямування вантажу до станції призначення.

3 При розробленні технічних умов навантаження штабельних та інших вантажів на особовий період запропоновано використовувати метод максимального навантаження, який полягає в тому, що деталі та інші пристрої кріплення вантажів повинні виконувати свої функції в межах відстані перевезень, а умови перевезень найбільш відрізняються від нормативних. У свою чергу, розрахунок дровових

розтяжок на обмежену довговічність запропоновано виконувати за межею текучості з урахуванням відносного подовження та схоронності вантажів, а розподілення навантаження між видами кріплення виконувати згідно закону Гука.

4 Використовуючи принцип Даламбера та теорему про зміну кінетичної енергії в кінцевій формі:

- удосконалено метод розрахунку сил, що діють на штабельні вантажі в поздовжньому та поперечному напрямках;

- виведено математичні залежності для визначення граничних швидкостей співудару вагонів та руху поїзда в кривих та перехідних ділянках колії, при яких забезпечується стійкість штабельних та інших вантажів у вагоні від перекидання;

- розроблено математичні моделі руху штабельних вантажів при маневровій роботі та при русі поїзда в кривих та перехідних ділянках колії.

5 В результаті імітаційного моделювання на ПЕОМ та експериментальних досліджень встановлено:

- незакріплений штабель вантажу пересувається, як штучний вантаж;

- при маневрових операціях існує два режими руху штабелю вантажу: перший – коли швидкість співудару вагонів не перевищує 4,32 км/год і вантаж сковзає по підлозі вагона (сила нормального тиску $N > 0$), та другий – коли швидкість співудару більша, ніж 4,32 км/год – відбувається відрив вантажу від підлоги вагона (сила нормального тиску $N = 0$);

- при закріпленні вантажу, величина пересування залежить від діаметра дроту, кількості ниток у розтяжці та кількості розтяжок;

- закріплення одного ярусу не впливає на пересування інших ярусів штабеля;

- для забезпечення схоронності вантажу, а також безпеки руху необхідно закріплювати всі яруси в штабелі;

- відкриття режиму руху вантажу у поздовжньому напрямку при якому сила нормального тиску $N = 0$ вимагає для забезпечення схоронності вантажу і безпеки руху збільшення розрахункового навантаження на деталі та інші пристрої кріплення на величину сили тертя;

- навантаження на деталі та інші пристрої кріплення у поперечному напрямку на 16,5% нижче розрахованих за “Техническими условиями погрузки и крепления грузов”;

- стійкість вантажу у вагоні забезпечується проти перекидання у поздовжньому напрямку без закріплення його до швидкості співударів вагонів 13 км/год.

6 Наведений критерій оптимального рівня схоронності вантажів забезпечує раціональне поєднання заходів на місцях навантаження та на пунктах комерційного огляду на шляху прямування вантажу.

7 Використання удосконалених методів розрахунку технічних умов навантаження та кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі забезпечує економічний ефект 17221,81 грн за рік у розрахунку на один вагон.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

- 1 Котенко А. М., Мкртичьян Д. І. Особливості теорії кріплення штабельних вантажів в вагонах // Зб. наук. праць. – ХарДАЗТ. – 2001. – Вип. 45. – С. 43 – 49.
- 2 Котенко А. М., Поляков А. О., Мкртичьян Д. І. Основні напрямки удосконалення технічних умов навантаження та кріплення вантажів // Зб. наук. праць. – ХарДАЗТ. – 2001. – Вип. 47. – С. 40 – 47.
- 3 Котенко А. М., Мкртичьян Д. І. Підвищення надійності кріплення вантажів // Залізн. трансп. України. – 2002. – №4. – С. 8 – 10.
- 4 Котенко А. Н., Мкртычьян Д. И. Повышение уровня безопасности и сохранности перевозимых грузов // Залізн. трансп. України. – 2002. – №2. – С. 31 – 34.
- 5 Котенко А. Н., Поляков А. А., Мкртычьян Д. И. Совершенствование технических условий погрузки и крепления грузов // Залізн. трансп. України. – 2001. – №4. – С. 26 – 28.
- 6 Котенко А. Н., Мкртычьян Д. И. Рыночные подходы к достижению оптимального уровня безопасности движения и сохранности грузов в грузовом хозяйстве железных дорог // Інформ.-керуючі системи на залізн. трансп. – 2001. – №3. – С. 15 – 17.
- 7 Котенко А. М., Мкртичьян Д. І. Експериментальні дослідження стикування вагонів при розпуску їх з сортувальних гірок // Зб. наук. праць. – УкрДАЗТ. – 2002. – Вип. 49. – С. 107 – 111.
- 8 Котенко А. М., Мкртичьян Д. І. Удосконалення теорії кріплення вантажів у вагонах // Зб. наук. праць. – ХарДАЗТ. – 2001. – Вип. 47. – С. 4 – 12.
- 9 Котенко А. Н., Мкртычьян Д. И., Абесадзе П. З. Исследование перемещения грузов в процессе перевозки // Зб. наук. праць. – ХарДАМГ. – 2001. – Вип. 33. – С. 245 – 250.

АНОТАЦІЯ

Мкртичьян Д. І. Удосконалення технічних умов навантаження та кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2003.

Дисертація присвячена питанням удосконалення технічних умов навантаження та кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі.

В основу наукових положень і висновків, викладених у дисертаційній роботі, покладені наукові праці і рішення, прийняті в галузі розробки технічних умов і теорії навантаження та кріплення штабельних вантажів на відкритому рухомому складі.

Запропоновані критерії оцінки надійності та ефективності деталей та інших пристроїв для кріплення вантажів дозволяють підвищити якість перевезень та знизити витрати матеріалів, що використовуються для кріплення вантажів, а також скоротити експлуатаційні витрати залізниць. Удосконалені підходи до розрахунку кріплення вантажів від переміщення у поздовжньому та поперечному напрямках, а також запропонований критерій оптимального рівня схоронності вантажів.

Удосконалено метод кріплення вантажів від переміщення у поздовжньому напрямку з урахуванням їх відриву від підлоги вагона під час співудару вагонів при виконанні маневрових операцій та метод забезпечення стійкості вантажів у вагонах до поздовжнього та поперечного перекидання.

Ключові слова: технічні умови, штабельний вантаж, стійкість, надійність, ефективність, деталі кріплення.

АННОТАЦІЯ

Мкртычян Д. И. Усовершенствование технических условий погрузки и крепления штабельных грузов на открытом подвижном составе. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – Эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2003.

Диссертация посвящена вопросам усовершенствования метода расчета погрузки и крепления штабельных грузов на открытом подвижном составе. В основу научных положений и выводов, изложенных в диссертационной работе, положены научные работы и решения, принятые в области разработки технических условий и расчетов погрузки и крепления штабельных грузов на открытом подвижном составе. Работа выполнена в соответствии с Концепцией и Программой реструктуризации железнодорожного транспорта Украины, Программами повышения безопасности движения на железных дорогах Украины, Концепцией создания и функционирования национальной сети транспортных коридоров в Украине, а также с научно-исследовательскими работами кафедры “Управление грузовой и коммерческой работой” Украинской государственной академии железнодорожного транспорта.

В работе выполнен анализ отказов крепления и случаев необеспечения сохранности грузов на железных дорогах Украины, “Технических условий погрузки и крепления грузов” и теорий расчета деталей и других устройств крепления грузов на открытом подвижном составе.

Предложены критерии оценки надежности и эффективности деталей и других узлов крепления грузов, которые дают возможность повысить качество перевозок и снизить затраты материалов, которые используются для крепления грузов, а также сократить эксплуатационные затраты железных дорог.

Усовершенствованы подходы к расчету крепления грузов от перемещения в продольном и поперечном направлениях, что позволяет сократить материалы, расходуемые на крепление грузов.

Предложен критерий оптимального уровня сохранности грузов.

Усовершенствованы методы крепления грузов от перемещения в продольном направлении с учетом их отрыва от пола вагона во время соударения вагонов при выполнении маневровых операций и методы обеспечения устойчивости грузов в вагонах к продольному и поперечному опрокидыванию.

Использование усовершенствованных технических условий погрузки и крепления штабельных грузов на открытом подвижном составе обеспечивает экономический эффект в размере 17221,84 гривен за год из расчета на один вагон.

Полученные в работе результаты предложено использовать при разработке новых технических условий погрузки и крепления штабельных грузов на открытом подвижном составе, а также для внедрения в учебный процесс при подготовке молодых специалистов и при повышении квалификации работников железных дорог.

Ключевые слова: технические условия, штабельный груз, устойчивость, надежность, эффективность, детали крепления.

SUMMARY

Mkrtychyan D. I. Improvement of the specifications of the loading and fastening of the pile loads on the open rolling stock. – Manuscript.

Scientific degree's thesis awarded the candidate of technical science in speciality 05.22.20 – Operation and maintenance of transport means. Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, 2003.

The thesis is dedicated to the questions of the improvement of the calculation theory of the loading and fastening pile loads on the open rolling stock. The scientific positions and conclusions, stated in the thesis work, are based on the scientific works and decisions, arranged in the area of the specifications development and calculation of the loading and fastening pile loads on the open rolling stock.

The designed criteria of the reliability and efficiency mark to the details and nodes of the fastening loads give a possibility to raise the quality of transportation and to reduce the material expenses, which are used for fastening loads, and as well as to shorten railway operation expenses. First the new approaches to the calculation of the fastening loads from the displacement in longitudinal and diametrical directions, as well as a new theory of the

determination of the optimum expenses on support given level of the provision of the movement safety and loads safety in railway freight facility are offered.

A theory of the fastening loads from the displacement in longitudinal direction accounting its take-off from flap of the coach and flight in the time of graving coaches on making of shunting operations and provision theory of load stability in the coaches from longitudinal and diametrical overturning are improved.

Key words: specifications, pile load, stability, reliability, efficiency, the details of fastening.

МКРТИЧЬЯН Дмитро Ігорович

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ УМОВ НАВАНТАЖЕННЯ
ТА КРІПЛЕННЯ ШТАБЕЛЬНИХ ВАНТАЖІВ НА
ВІДКРИТОМУ РУХОМОМУ СКЛАДІ**

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

к. т. н., доц. Запара В. М.

Підписано до друку 12.05.2003 р. формат паперу А5, папір для
тиражувальних апаратів, друк на різнографі.
Умовн.-друк. арк. 0,9, обл.-вид. арк. 1,1
Замовлення № _____, тираж 100

Видавництво УкрДАЗТу. Свідоцтво ДК №112 від 06.07.2000 р.
Друкарня УкрДАЗТу, 61050, м. Харків-50, майдан Фейербаха, 7